



Universidad
Carlos III de Madrid

Trabajo Fin de Grado:

“Sistema Fotovoltaico Autónomo para Casa Rural”

Trabajo Fin de Grado de Ingeniería Eléctrica	
Título:	Sistema Fotovoltaico Autónomo para Casa Rural
Alumno:	Jesús Lara Torrillas
Tutor:	Vicente Salas Merino
Titulación:	Grado en Ingeniería Eléctrica
Universidad:	Universidad Carlos III de Madrid
Campus:	Escuela Politécnica Superior (Leganés)
Fecha:	FEBRERO/2014



Índice

OBJETIVOS DEL PROYECTO	11
 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.1 Introducción.....	15
1.2 Situación de la Energía Renovable en el mundo.....	16
1.3 Nacimiento del significado Fotovoltaico.....	17
1.4 Principio de Funcionamiento de la Célula Fotovoltaica.....	17
1.5 Electrificación rural para los sistemas y los entornos aislados.....	19
1.6 Energía fotovoltaica integrada en Edificios	20
1.7 Tecnología CPV Radiación solar concentrada.....	20
1.8 Evolución temporal de la Energía FV en países del mundo	21
1.9 Impacto social y medioambiental.....	23
1.10 Protocolo de Kyoto y cambio climático	24
1.10.1 Protocolo de Kyoto en España.....	25
1.11 Beneficios de la Fotovoltaica	26
1.12 Historia de la Fotovoltaica	27
1.13 Mercado Fotovoltaico actual	34
1.14 Tecnología de fabricación de una célula fotovoltaica	36
 CAPÍTULO 2. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	39
2.1 Introducción.....	40
2.1.1 Sistemas aislados (Sistema Stand-Alone)	40
2.1.1.1 Elementos propios del sistema.....	40
2.1.1.2 Aplicaciones de los sistemas aislados.....	41
2.1.2 Sistemas conectados a red	42
2.1.2.1 Elementos propios del sistema conectado a red.....	43
2.1.2.2 Aplicaciones para un sistema conectado a red	43
2.2 Elementos Sistema Fotovoltaico conectado a red.....	45
2.2.1 Generador fotovoltaico	45
2.2.2 Inversor	46
2.2.2.1 Tipos de inversores	47
2.2.2.1.1 Central	47



2.2.2.1.2 String.....	47
2.2.2.1.3 Multi-String.....	48
2.2.2.1.4 Inversores con módulos integrados	48
2.2.3 Contador	48
2.2.4 Seguidor Solar	49
2.3 Sistemas Híbridos.....	49
2.3.1 Hibridación Fotovoltaica más Diésel.....	50
2.3.2 Hibridación con acoplamiento en CC.....	52
2.3.3 Hibridación con acoplamiento en CA.....	53
2.3.3.1 Comparación energética entre el acoplamiento de CC y el de CA ..	54
2.3.4 Hibridación con acoplamiento mixto	55
2.3.5 Control.....	55
 CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS FV AUTÓNOMOS	57
3.1 Introducción.....	58
3.2 El módulo fotovoltaico.....	58
3.2.1 Silicio cristalino.....	60
3.2.2 Capa fina.....	62
3.2.3 Concentración	64
3.3 El acumulador o batería.....	66
3.4 El regulador.....	69
3.5 El inversor AC/DC.....	71
3.6 Métodos de dimensionado de Sistemas Híbridos	71
3.7 Normativa y legislación.....	73
 CAPÍTULO 4. ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS	75
4.1 Introducción.....	76
4.1.1 Localización	76
4.1.2 Consumo de los elementos y cargas de la vivienda rural.	76
 CAPÍTULO 5. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HÍBRIDO	78
5.1 Introducción.....	79
5.2 Datos de radiación en la localización geográfica de la instalación	80
5.3 Diseño previo del sistema por medio del PVSyst	84



5.4 Elección de componentes.....	87
5.4.1 Elección del módulo fotovoltaico	88
5.4.2 Elección de la batería o acumulador	89
5.4.3 Elección del regulador	91
5.4.4 Elección del inversor AV/DC	92
5.5 Dimensionado	94
5.5.1 Simulación	94
5.5.2 Cableado del sistema.....	96
5.6 Resultados de la simulación del sistema	99
5.7 Seguridad y protecciones.....	101
5.7.1 Medidas de protección del generador fotovoltaico.....	101
5.7.2 Medidas de protección de las baterías.....	102
5.7.3 Medidas de protección del inversor.....	103
5.8 Conexión a tierra.....	103
5.9 Casetas para los equipos de la instalación	104
 CAPÍTULO 6. PLANOS Y ESQUEMAS	105
6.1 Situación y emplazamiento.....	106
6.2 Esquemas unifilares	107
6.2.1 Parte DC	107
6.2.2 Parte AC.....	107
 CAPÍTULO 7. PRESUPUESTOS	108
7.1 Introducción.....	109
7.2 Precios de construcción	109
7.3 Precios de instalación eléctrica.....	110
 CONCLUSIONES.....	112
 AGRADECIMIENTOS.....	114
 BIBLIOGRAFÍA.....	116



Índice de Tablas

Tabla 1.1. Potencia total instalada (MWp) por país.....	21
Tabla 1.2. Diferentes formas de producir electricidad para compararlo con el impacto ambiental	23
Tabla 1.3. Tabla resumen de las tecnologías de las células solares	35
Tabla 3.1. Comparación de los módulos monocristalinos y policristalinos	61
Tabla 3.2. Euros por Vatios pico para módulos de células cristalinas.....	62
Tabla 3.3. Comparación eficiencias entre ambos módulos	64
Tabla 3.4. Comparación eficiencias capa fina	64
Tabla 3.5. Euro por Vatios pico para distintas tecnologías del modulo.....	67
Tabla 3.6. Listado de Modelos de Acumuladores EcoSafe OPzS con la relación de sus capacidades, Dimensiones y Peso.....	70
Tabla 4.1. Listado de los aparatos que se utilizaran como carga del sistema de la instalación	76
Tabla 4.2. Listado de los aparatos desglosado según los Vatios horas	77
Tabla 4.3. Resultado de los consumos medios diarios los Vatios horas	77
Tabla 5.1. Datos de radiación para mes y ángulo de inclinación.	85
Tabla 5.2. Resultado de los Cálculo de la inclinación óptima.	85
Tabla 5.3. Valores de Isc y Voc del generador fotovoltaico.	89
Tabla 5.4. Especificaciones de la batería elegida para el sistema.....	90
Tabla 5.5. Factores a tener en cuenta para la elección del regulador.	91
Tabla 5.6. Consumo de los aparatos de la instalación.	92
Tabla 5.7. Cableado por corriente máxima según la normativa.	96
Tabla 7.1. Precio de materiales de construcción.	109
Tabla 7.2. Precio de materiales de construcción.	109
Tabla 7.3. Precio de materiales de instalación eléctrica.	110
Tabla 7.4. Precio de mano de obra de instalación eléctrica.	110
Tabla 7.5. Precio desglosado de cada una de las tareas y el total del proyecto.....	111



Índice de Figuras

Figura 1.1. Esquema de las energías renovables.	15
Figura 1.2. Esquema de la estructura básica de una célula solar basada en silicio.	16
Figura 1.3. Imagen de la instalación híbrida fotovoltaica de La Estación Espacial Internacional, que obtiene su energía a través de paneles fotovoltaicos.	17
Figura 1.4. Diferentes módulos FV, años 70s.....	17
Figura 1.5. Sonda espacial Juno, equipada con módulos fotovoltaicos.....	18
Figura 1.6. Mapamundi de radiación solar.	19
Figura 1.7. Instalación fotovoltaica en una casa rural española de un municipio del norte de España	20
Figura 1.8. Esquema de la inducción de la luz en un módulo Concentrated Photovoltaics. CPV	20
Figura 1.9. Potencia Instalada en el mundo en MW hasta 2012.	22
Figura 1.10. PER 2005-2010.	26
Figura 1.11. Crecimiento del Mercado Mundial Fotovoltaica 2000 2007.....	28
Figura 1.12. Diferencias entre España y Alemania a la hora de regular el Mercado de Fotovoltaica.....	29
Figura 1.13. Productora de paneles fotovoltaicos china.....	30
Figura 1.14. Proyección Capacidad Instalada Fotovoltaica en Italia	30
Figura 1.15. Alimentación en su totalidad por paneles fotovoltaicos diseñados por el arquitecto Toyo Ito Architects para los Juegos Mundiales.....	31
Figura 1.16. Media diaria de irradiación en USA.....	32
Figura 1.17. Fachada fotovoltaica en MNACTEC, Tarrasa, España.....	33
Figura 1.18. Irradiación solar global y potencia eléctrica solar en España	33
Figura 1.19. Esquema del proceso de fabricación de la célula	36
Figura 1.20. Imagen de un mineral del silicio.....	37
Figura 1.21. Esquema de obtención de los lingotes de Silicio por el método Czochralsky.....	37
Figura 2.1. Esquema de instalación híbrida aislada de la red.	40
Figura 2.2. Esquema de instalación híbrida aislada para señalización marítima.....	41
Figura 2.3. Esquema de instalación híbrida aislada para utilización de bombeo	42
Figura 2.4. Esquema de instalación híbrida aislada para vivienda aislada.....	42
Figura 2.5. Esquema de instalación híbrida conectada a red para vivienda.	44



Figura 2.6. Muestra una perspectiva con las partes principales del seguidor: Sistema de paneles sobre ejes; ejes paralelos sobre dos vigas carril y estructura soporte articulada	45
Figura 2.7. (Izquierda) Es una vista lateral del seguidor mostrando el sistema articulado de la estructura soporte en posición plegada, corresponde a máxima inclinación de ejes y por tanto a período de invierno	46
Figura 2.8. (Derecha) Igual que la figura 2 pero para posición de verano, con estructura abierta y ejes menos inclinados	46
Figura 2.9. Sistema de montaje.....	46
Figura 2.10. Sistema de montaje perfil	46
Figura 2.11. Inversor comercial de tipo Central APV 250K-TL/270K-TL/330K	47
Figura 2.12. Inversor de tipo String.....	48
Figura 2.13. Contador eléctrico bidireccional 5CTM.....	49
Figura 2.14. Esquema de un seguidor solar soporte.....	49
Figura 2.15. Esquema general de los sistemas híbridos fotovoltaicos.....	50
Figura 2.16. Hibridación fotovoltaica + Diésel con gestor energético, propuesto por Fronius utilizando un gestor energético CDP-H de Circutor	51
Figura 2.17. Control dinámico de potencia regulado por la frecuencia del bus de CA.....	51
Figura 2.18. Control dinámico de potencia regulado por la tensión del bus de CA, en un inversor Fronius.....	52
Figura 2.19. Implementación de la configuración mixta.....	54
Figura 2.20. Hibridación empleando la configuración en CA, con respaldo de la red pública de energía, implementado por la empresa Enertres.	55
Figura 2.21. Hibridación propuesta por Fronius empleando la configuración en CA, con respaldo de un generador diésel, con gestor energético.	56
Figura 3.1. Clasificación de los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos	58
Figura 3.2. Esquema de instalación híbrida fotovoltaica autónomo	59
Figura 3.3. Esquema de instalación híbrida mixta fotovoltaica	59
Figura 3.4. Esquema de instalación híbrida fotovoltaica autónoma para un vivienda rural	60
Figura 3.5. Esquema de un módulo fotovoltaico transversal para observar sus componentes...	61
Figura 3.6. Módulo Monocristalino.....	62
Figura 3.7. Módulo Policristalino	62
Figura 3.8. MACD Maximum achievable current density (Máxima densidad de corriente alcanzable) por una célula plana con capa antirreflectora en función de su espesor.....	63



Figura 3.9. V_{oc} representada frente al espesor de célula para una corriente máxima generable por una célula plana con capa antirreflectora, en función del espesor de la célula, para grandes y pequeñas velocidades de recombinación	64
Figura 3.10. Tecnología del módulo FLATCON	65
Figura 3.11. Seguidores con módulos fotovoltaicos FLATCON	66
Figura 3.12. Evolución del precio Euro por Vatios pico para módulos monocristalinos.....	66
Figura 3.13. Evolución del precio Euro por Vatios pico para módulos policristalinos	67
Figura 3.14. Esquema de un acumulador o batería de plomo ácido	68
Figura 3.15. Muestra del acumulador elegido para la instalación	69
Figura 3.16. Regulador de carga Modelo Steca	70
Figura 3.17. Sensor de temperatura externo para Regulador de carga Modelo Steca	71
Figura 3.18. Inversores de distintos tamaños de Ingecon	72
Figura 3.19. Esquema del diseño y dimensionado de un sistema fotovoltaico	73
Figura 5.1. Esquema del diseño y dimensionado de un sistema fotovoltaico.	79
Figura 5.2. Página principal base de datos de radiación, Agencia Andaluza de la Energía.....	80
Figura 5.3. Datos en base de datos de radiación Agencia Andaluza de la Energía.	80
Figura 5.4. Página principal PVSYST.	81
Figura 5.5. Página principal opción Base de Datos.....	81
Figura 5.6. Introducción de las coordenadas en PVSyst	82
Figura 5.7. Introducción de las coordenadas en PVSyst y pulsar NASA-SSE.	82
Figura 5.8. Datos meteorológicos de la NASA en PVSyst.	83
Figura 5.9. Datos meteorológicos de la Agencia Andaluza de la Energía.	83
Figura 5.10. Pantalla principal del PVSyst.	84
Figura 5.11. Especificación de la inclinación de los paneles.	86
Figura 5.12. Perfil de consumo mensual, excepto junio, julio y agosto.....	86
Figura 5.13. Perfil de consumo mensual para los meses de verano junio, julio y agosto.....	87
Figura 5.14. Resultados anuales del diseño previo.	88
Figura 5.15. Captura de la especificación del módulo elegido.....	89
Figura 5.16. Imágenes de celdas del mismo tipo y marca que la batería elegida.....	90
Figura 5.17. Fotografía del regulador Steca PR 10-30.....	91
Figura 5.18. Planos y Especificaciones del regulador Steca PR 10-30.....	91
Figura 5.19. Características eléctricas del inversor IrepsoL GMS1800.	92
Figura 5.20. Especificación del módulo elegido en PVSYST.	93
Figura 5.21. Especificación de la batería elegida en PVSYST.....	93
Figura 5.22. Selección de Albedo en PVSYST.	94



Figura 5.23. Especificación de batería y módulo dentro de la simulación.....	95
Figura 5.24. Especificación de regulador y temperatura de batería.....	95
Figura 5.25. Introducción de los factores de pérdidas.....	98
Figura 5.26. Inclusión de pérdidas por cableado.	98
Figura 5.27. Factores de pérdidas del sistema.....	99
Figura 5.28. Utilización de la energía.	100
Figura 5.29. Utilización de la energía.	100
Figura 5.30. Diagrama de pérdidas del sistema.	101
Figura 5.31. Rejilla de ventilación elegida para la caseta.....	102
Figura 5.32. Esquema de configuración de conexión a tierra con generador flotante, en situación de contacto directo	103
Figura 6.1. Situación de Los Palacios y Villafranca.	106
Figura 6.2. Situación de la parcela respecto a Los Palacios y Villafranca.....	106
Figura 6.2. Esquema unifilar parte DC de la instalación.....	107
Figura 6.3. Esquema unifilar parte AC de la instalación.....	107



OBJETIVOS DEL PROYECTO



El presente documento se basa en el estudio de una instalación híbrida fotovoltaica aislada. Se tratará de mostrar y determinar tanto la visibilidad económica como técnica de una instalación fotovoltaica aislada.

Para dicho estudio se procederá a los siguientes pasos para dimensionar el proyecto.

- ❖ Arrancar de los datos del terreno, lugar donde se situará la instalación dentro de un emplazamiento rural.
- ❖ Antes de comenzar los cálculos se establecerá las cargas y los meses en el cuales estas cargas son demandadas dentro de la casa rural.
- ❖ Establecer el emplazamiento geográfico de la casa, teniendo en cuenta este emplazamiento se definirá las condiciones de irradiación y meteorológicas según
- ❖ El presupuesto de la instalación será realizado con unos materiales que se encuentran actualmente en el mercado español eléctrico.

El objetivo principal del presente documento es realizar el documento técnico para la realización de un sistema de generación fotovoltaica autónoma de la propia red mediante la colocación de placas fotovoltaicas en la parte superior del tejado de la casa rural de la casa de la finca. La estructura de los paneles se colocaran de una forma adecuada según el cálculo previo referentes a los datos aportados por las características del terreno y su meteorología propia, para ello se apoyara en herramientas de la junta de Andalucía para el cálculo del estado meteorológico y una vez obtenidos todos los datos y cálculos previos se introducirán en el programa o herramienta para su posterior dimensionamiento.

Será muy importante y un punto a tener muy en cuenta la ubicación y orientación del sistema. La climatización del lugar de la instalación para los paneles solares verá afectada el sistema. Todos estos puntos informan y determinan la radiación solar incidente en los paneles y módulos solares de la instalación. Además conocer la radiación solar ayudará en el cálculo de la energía solar anual prevista. Todos estos pasos comprenderán la viabilidad de la instalación.

Este tipo de fuente de energía como sistema es independiente de la venta de energía ya que en contra posición a otros sistemas y como su propio nombre indica es un sistema aislado y no tiene conexión a la red general de suministro. Este sistema diseñado, es simplemente para el propio consumo de las cargas, qué abastecen a los usuarios de la propia casa rural.

Además de estos objetivos primordiales en todo proyecto de un sistema similar, tanto en condiciones como en infraestructura, a éste; se pretende alcanzar otro tipo de objetivos secundarios como son:

- ❖ Fomentar la energía solar fotovoltaica aislada, para este caso concreto y aunque también se pueda utilizar el mismo sistema conectado a red
- ❖ Promover la energía solar como fuente de producción de energía limpia eléctrica.
- ❖ Descentralizar la generación de energía para disminuir las pérdidas por transporte hasta los puntos de carga.
- ❖ Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero en la generación de energía eléctrica como punto importante del protocolo Kioto.
- ❖ Aprovechar el gran recurso energético solar en el mundo.
- ❖ Aprovechamiento del marco rural del emplazamiento mencionado andaluz.

Dentro de la estructura de este informe no se detallará los trámites necesarios para la implantación de la instalación y la venta de la energía a la Red. Contrarrestando esto, se



enumerarán los trámites para saber que debe de requerirse para llevar a cabo un proyecto como éste; de tal característica.

Estructura del proyecto.

A continuación se detalla una breve descripción de los capítulos que contiene este proyecto:

❖ OBJETIVOS.

En este primer apartado del proyecto se concentran las finalidades del propio proyecto.

❖ CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.

Todo proyecto tiene un capítulo introductorio en el cual como su propio nombre indica, se introduce al usuario al cuadro social, tecnológico y normativo de la situación actual e histórica de los sistemas fotovoltaicos.

❖ CAPÍTULO 2. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Desarrollo de los tipos de sistemas fotovoltaicos para comprender los componentes, funcionalidades y especificaciones de cada uno de los tipos de sistemas.

❖ CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS FV AUTÓNOMOS.

Dentro de los tipos de sistemas FV, esté es un capítulo introductorio para el sistema utilizado en el desarrollo del diseño de este proyecto. En él se muestran los componentes de los sistemas FV autónomos.

❖ CAPÍTULO 4. ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS.

Localización del terreno donde se encuadra el sistema FV y los consumos de cada una de las cargas que aportará el sistema FV.

❖ CAPÍTULO 5. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HÍBRIDO.

Capítulo principal del proyecto en el cual se desarrollan todos los cálculos del diseño por medio del programa PVSyst del sistema híbrido.

❖ CAPÍTULO 6. PLANOS.

Toda la información relativa de forma esquemática de la situación y estructura de los esquemas eléctricos de la instalación de la casa rural.

❖ CAPÍTULO 7. PRESUPUESTOS.

Cada proyecto ingenieril necesita de un presupuesto para confirmar la viabilidad de la instalación híbrida de Los Palacios y Villafranca.

❖ CONCLUSIONES.

Desarrollo de mis finalidades personales sobre el desarrollo, puesta en marcha y finalidad de este proyecto.



❖ AGRADECIMIENTOS.

Simplemente un agradecimiento personal a las personas que me han rodeado a lo largo de este largo camino.

❖ BIBLIOGRAFÍA.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

En la actualidad las energías renovables se han convertido en una forma de extracción de energía muy eficiente y presente dentro de la sociedad puntual. Dependiendo del tipo de fuente de extracción de energía renovable existen varios tipos. La normalización y generalización del uso de estos tipos de energía para diferentes entornos, esto plantea la necesidad principal de generar estas energías cumpliendo unos ciertos mínimos de eficiencia, bajo coste, bajo consumo y altas prestaciones.

Para las personas, la existencia de energías renovables se produce desde tiempos inmemoriales. La energía eólica, solar e hidráulica son las principales tipos punteros.

La energía solar es la principal energía, y origen de todas las demás formas de energía; así recogiendo mediante un transformador y un almacenador la radiación solar, ésta se transformaba en otros tipos de energía. Como ejemplo dentro de esta energía solar, tenemos los colectores solares, los cuales pueden transformar de una forma directa la energía solar en energía térmica. Mientras que la modificación de estos colectores por paneles fotovoltaicos, modificará la creación de energía. Pasará de producirse energía térmica, prodigiándose de forma análoga energía eléctrica.

La energía eléctrica producida por medio de los paneles fotovoltaicos o paneles, son de una gran variedad.

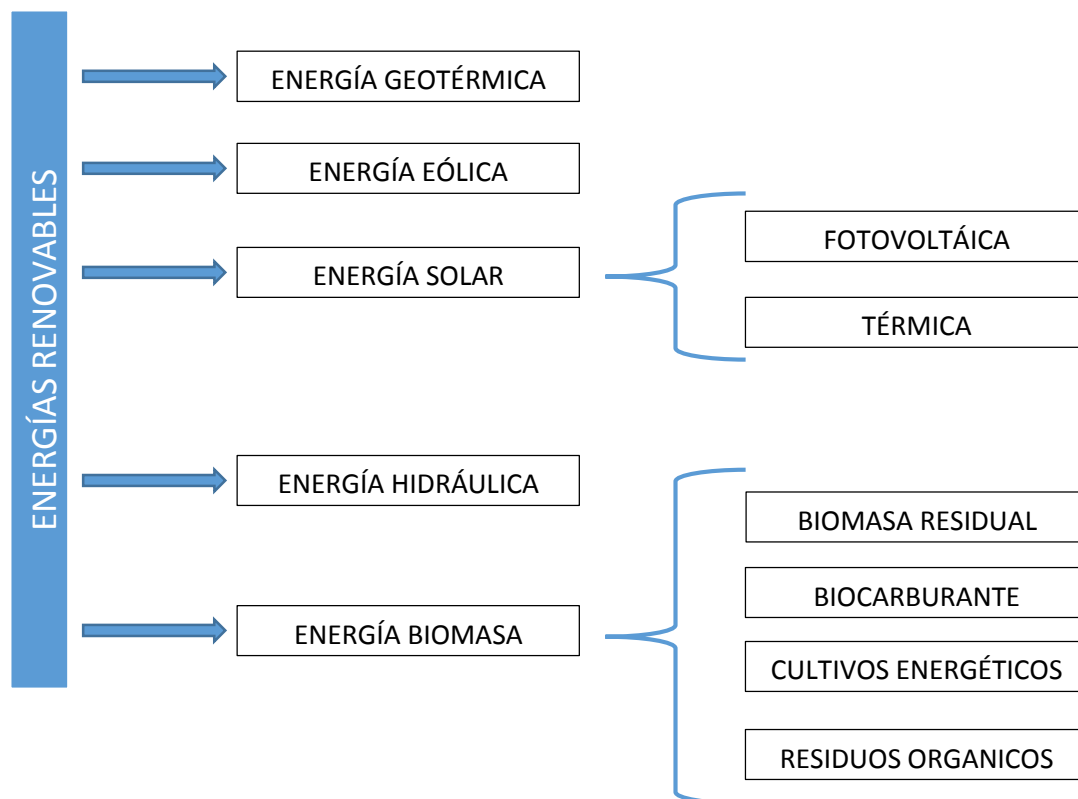


Figura 1.1. Esquema de las energías renovables.

Fuente del esquema: Fuente propia

Las energías renovables son una fuente de energía continua e inagotable para el futuro ya que el impacto medio ambiental es mínimo comparado con otros sistemas de fuente de energía contemporáneos. Son energías auto gestionadas, energías limpias, ya que se permite el aprovechamiento en el mismo lugar donde se produce la extracción de la propia energía.

El sector fotovoltaico se encuentra a la vanguardia de las Energías Renovables en estos momentos. Durante los últimos años se ha incrementado el deseo de utilizar energías renovables para preservar el medio ambiente, para un aprovechamiento mayor de los recursos naturales.

La energía solar fotovoltaica es una fuente fiable de la producción de energía eléctrica. Suponer la conversión directa de la energía solar en la energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico, utilizando como herramienta o medias las propias células solares. El estudio comprenderá un dinamismo dimensionando el sistema fotovoltaico en un estudio y por otro lado una viabilidad para las diferentes regiones.

1.2. Situación de la Energía Renovable en el mundo.

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica.

Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años. Entre los años 2001 y 2012 se ha producido un crecimiento exponencial de la producción de energía fotovoltaica, doblándose aproximadamente cada dos años. La potencia total fotovoltaica instalada en el mundo (conectada a red) ascendía a 7,6 GW en 2007, 16 GW en 2008, 23 GW en 2009, 40 GW in 2010, 70 GW en 2011 y 100 GW en 2012.

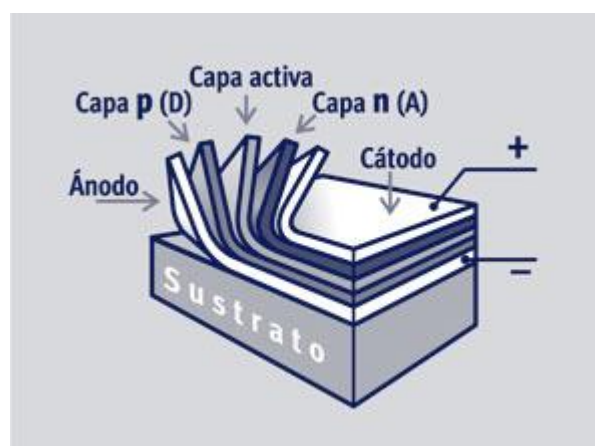


Figura 1.2. Esquema de la estructura básica de una célula solar basada en silicio.

Fuente: www.cubasolar.com

A finales de 2013, se habían instalado en todo el mundo cerca de 140 GW de potencia fotovoltaica. Gracias a ello la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica, y supone ya una fracción significativa de la mezcla eléctrica en la Unión Europea.



Figura 1.3. Imagen de la instalación híbrida fotovoltaica de La Estación Espacial Internacional, que obtiene su energía a través de paneles fotovoltaicos.

Fuente de la imagen: www.cubasolar.com

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y logrando que su coste medio de generación eléctrica sea ya competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

1.3. Nacimiento del significado Fotovoltaico.

El término "fotovoltaico" se comenzó a usar en Reino Unido en el año 1849. Proviene del griego "*φῶς*" *foto*: "*phos*", que significa "*luz*", y de "*voltaico*", que proviene del ámbito de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez a principio en el siglo diecinueve, por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, pero la primera célula solar no se fabricó hasta finales del mismo siglo. Su creador fue Charles Fritts.



Figura 1.4. Diferentes módulos FV, años 70s.

Fuente: www.nsp.com

Los estudios realizados en el siglo XIX por Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla y Heinrich Hertz sobre inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas, y sobre todo los de Albert Einstein, proporcionaron la base teórica al efecto fotoeléctrico, que es el fundamento de la conversión de energía solar a electricidad.

1.4. Principio de Funcionamiento de la Célula Fotovoltaica.

El Principio de funcionamiento de la célula fotovoltaica para un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando a la vez un hueco en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

En resumen, una célula fotovoltaica es el equivalente de un generador de energía a la que se ha añadido un diodo. Para lograr una célula solar práctica, además es preciso añadir contactos eléctricos (que permitan extraer la energía generada), una capa que proteja la célula pero deje pasar la luz, una capa antireflectante para garantizar la correcta absorción de los fotones, y otros elementos que aumenten la eficiencia de la misma.



Figura 1.4. Sonda espacial Juno, equipada con módulos fotovoltaicos.

Fuente de la imagen: <http://noticias.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/programas-espaciales/>

En las décadas transcurridas desde los avances de Berman, las mejoras han reducido los costes de producción por debajo de un dólar por Vatios pico, con precios menores de dos dólares por Vatios picos para todo el sistema fotovoltaico. El precio del resto de elementos de una instalación fotovoltaica supone ahora un mayor coste que los propios paneles.

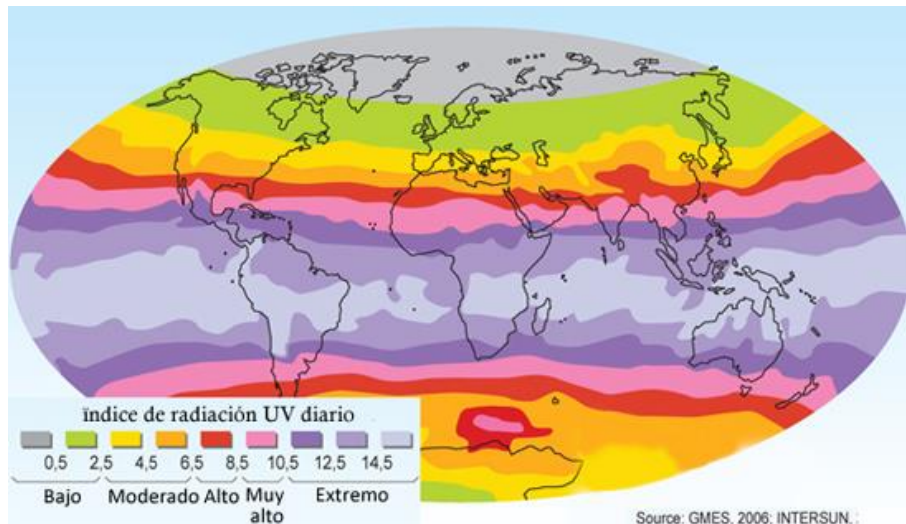


Figura 1.5. Mapamundi de radiación solar.

Fuente de la imagen: <http://tardecilla.blogspot.com.es/>

Dentro de la imagen anterior, los puntos negros en el mapa muestran el área total de fotovoltaica necesaria para cubrir la demanda mundial de energía usando paneles solares con una eficiencia del 8%. A medida que la industria de los semiconductores se desarrolló hacia lingotes cada vez más grandes, los equipos más antiguos quedaron disponibles a precios reducidos. Las células crecieron en tamaño cuando estos equipos antiguos se hicieron disponibles en el mercado excedentario. Los primeros paneles de *ARCO Solar* se equipaban con células de 2 a 4 pulgadas, 51 a 100 mm, de diámetro. Los paneles en la década de los 90 y principios de 2000 incorporaban generalmente células de 5 pulgadas, 125 mm, y desde el año 2008 casi todos los nuevos paneles utilizan células de 6 pulgadas, 150mm. También la introducción generalizada de los televisores de pantalla plana a finales de la década de 1990 y principios de 2000 llevó a una amplia disponibilidad de grandes láminas de vidrio de alta calidad, que se utilizan en la parte frontal de los paneles.

En términos de las propias células, sólo ha habido un cambio importante. Durante la década de 1990, las células de polisilicio se hicieron cada vez más populares. A mediados de la década de 2000, el polisilicio dominaba en el mercado de paneles de bajo coste.

1.5. Electrificación rural para los sistemas y los entornos aislados.

Donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, las placas fotovoltaicas se emplean como alternativa económicamente viable. Para comprender esta alternativa importante, tiene en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial todavía no tiene acceso a la energía eléctrica.

En los países en desarrollo, muchos pueblos se encuentran situados en áreas remotas, a varios kilómetros de la red eléctrica. Se está incorporando la energía fotovoltaica de forma creciente para proporcionar suministro eléctrico a viviendas o instalaciones médicas en áreas rurales.



Figura 1.6. Instalación fotovoltaica en una casa rural española de un municipio del norte de España.

Fuente de la imagen: www.revistamedioambiente.net

También se emplea la fotovoltaica para alimentar instalaciones de bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado, o para sistemas de desalinización de agua.

1.6. Energía fotovoltaica integrada en Edificios.

La energía Fotovoltaica integrada en edificios como muchas instalaciones fotovoltaicas se encuentran a menudo situadas en los edificios: normalmente se sitúan sobre un tejado ya existente, o bien se integran en elementos de la propia estructura del edificio, como tragaluces, claraboyas o fachadas.

Alternativamente, un sistema fotovoltaico también puede ser emplazado físicamente separado del edificio, pero conectado a la instalación eléctrica del mismo para suministrar energía. En 2010, más del 80% de los 9000 MW de fotovoltaica que Alemania tenía en funcionamiento por entonces, se habían instalado sobre tejados por señalar un ejemplo.

La fotovoltaica integrada en edificios, BIPV, en sus siglas en inglés, se está incorporando de forma cada vez más creciente en los nuevos edificios domésticos e industriales como fuente de energía eléctrica principal o secundaria. Las tejas con células fotovoltaicas integradas son también bastante comunes en este tipo de integración.

1.7. Tecnología CPV Radiación solar concentrada.

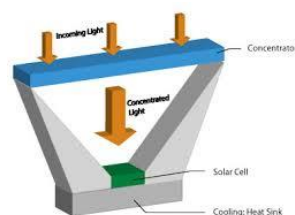


Figura 1.7. Esquema de la inducción de la luz en un módulo Concentrated Photovoltaics CPV.

Fuente de la imagen: www.energiadoblezero.com/

Otro tipo de tecnología en las plantas fotovoltaicas son las que utilizan una tecnología de concentración llamada CPV por sus siglas en inglés, Concentrated Photovoltaics para maximizar la energía solar recibida por la instalación, al igual que en una central térmica solar. Las instalaciones de concentración fotovoltaica se sitúan en emplazamientos de alta irradiación solar directa, como son los países a ambas riberas del Mediterráneo, Australia, Estados Unidos, etc. Hasta el año 2006 estas tecnologías formaban parte del ámbito de investigación, pero en los últimos años se han puesto en marcha instalaciones de mayor tamaño como la de ISFOC,



Instituto de Sistemas Solares Fotovoltaicos de Concentración, en Puertollano, Castilla La Mancha, con tres MW suministrando electricidad a la red eléctrica.

La idea básica de la concentración fotovoltaica es la sustitución de material semiconductor por material reflectante o refractante en este caso más barato.

Recientemente se ha anunciado el desarrollo de plantas de grandes dimensiones por encima de 1 MW. Las plantas de concentración fotovoltaica utilizan un seguidor de doble eje para posibilitar un máximo aprovechamiento del recurso solar durante todo el día.

1.8. Evolución temporal de la Energía FV en países del mundo.

A continuación se mostrara una tabla donde se resume la evolución temporal de los países más importantes del mundo.

En la siguiente tabla se muestra el detalle de la potencia mundial instalada, desglosada por cada país, desde el año 2000 hasta finales de 2013:

























País	Total 2006	Total 2007	Total 2008	Total 2009	Total 2010	Total 2011	Total 2012	Total 2013
Total mundial	6915	9443	15 772	23 210	39 778	69 684	102 024	140 000
 Europa	3285	5257	10 554	16 357	29 328	51 360	68 640	-
 Alemania	2759	3835,5	5340	9959	17 320	24 875	32 411	35 600
 China	-	-	-	-	893	3 093	8 043	20 000
 Italia	50	120,2	458,3	1157	3502	12 764	16 987	19 000
 Japón	1708,5	1918,9	2144	2627	3617	4914	6704	15 700
 USA	624	830,5	1168,5	1255,7	2519	4383	7665	11 933
 España	145	693	3354	3438	3892	4214	4537	4679
 Francia	43,9	75,2	179,7	335,2	1025	2831	3843	4598
 Bélgica	-	-	-	574	803	2018	2650	-
 Australia	70,3	82,5	104,5	183,6	504	1298	2291	3000
 UK	14,3	18,1	22,5	29,6	72	1014	1831	3300
 Dinamarca	2,9	3,1	3,3	4,6	7,1	17	394	-
 Holanda	52,2	52,8	57,2	67,5	97	118	321	-
 Portugal	3,4	17,9	68	102,2	131	144	244	-
 México	19,7	20,8	21,8	25	31	37	52	-
 Perú	-	-	-	-	-	-	40	-
 Luxemburgo	-	-	-	27	27	30	30	-
 Suecia	4,8	6,2	7,9	9	11	16	24	-
 Chipre	-	-	-	3,3	6,2	10	17	-
 Noruega	7,7	8	8,3	9	9	10	10	-
 Turquía	2,8	3,3	4	5	6	7	9	-
 Finlandia	-	-	-	5	7	8	8	-
 Chile	-	-	-	-	-	-	5,7	-
 Brasil	-	-	-	-	27	32	s.d.	-

Tabla 1.1. Potencia total instalada (MWp) por país en el año.

Fuente de la tabla: www.energiasrenovables.ciemat.com

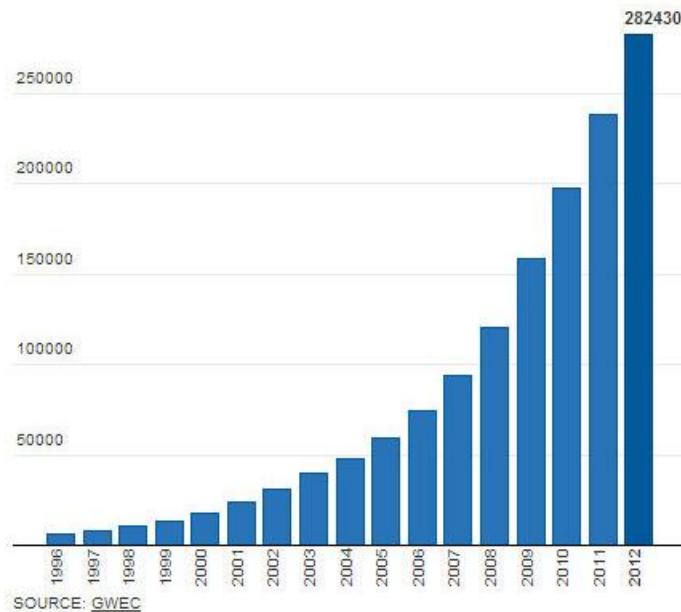


Figura 1.8. Potencia Instalada en el mundo en MW hasta 2012.

Fuente de la figura: GWEC.

Por último en esta introducción del proyecto, el reciclaje de módulos fotovoltaicos es importante dentro del nivel de concienciación global del planeta.

Al finalizar su vida útil, la mayor parte de los paneles fotovoltaicos puede ser tratada. Gracias a las innovaciones tecnológicas que se han desarrollado en los últimos años, se puede recuperar hasta el 95% de ciertos materiales semiconductores y el vidrio, así como grandes cantidades de metales ferrosos y no ferrosos utilizados en los módulos. Algunas empresas privadas y organizaciones sin fines de lucro, como por ejemplo PV CYCLE en la Unión Europea, están trabajando en las operaciones de recogida y reciclaje de paneles al final de su vida útil.

Dos de las soluciones de reciclaje más comunes son:

- ❖ Paneles de silicio: Los marcos de aluminio y las cajas de conexión son desmantelados manualmente al comienzo del proceso. El panel se tritura y las diferentes fracciones se separan: vidrio, plásticos y metales.
- ❖ Paneles de otros materiales: Hoy en día se cuenta con tecnologías específicas para el reciclaje de paneles fotovoltaicos que no contienen silicio, algunas técnicas utilizan baños químicos para separar los diferentes materiales semiconductores.

Desde 2010 se celebra una conferencia anual en Europa que reúne a productores, recicladores e investigadores para debatir el futuro del reciclaje de módulos fotovoltaicos. En 2012 tuvo lugar en nuestro país y la ciudad elegida fue Madrid.

1.9. Impacto Social y Medioambiental.

En la actualidad el uso de las energías renovables tiene y deriva en importantes beneficios medioambientales. El principal beneficio proviene de la sustitución de los combustibles fósiles



como pueden ser el carbón y el petróleo. Cada día se encuentra más presente la idea de preservación del medio ambiente.

Para esto, se están promoviendo distintos tipos de ayuda por parte de los Gobiernos, para dar apoyo a inversiones y facilitar el desarrollo tecnológico del país. Se ayuda por tanto a crear una percepción de riesgo menor ante las energías renovables. La Comisión Europea ha desarrollado además de todo esto, varias iniciativas a favor del desarrollo de las Energías Renovables en Europa lo que implica el desarrollo de normativas legales que afectan a todos los estados miembros. A parte de esto último, muchas Comunidades Autónomas tienen programas complementarios al marco Europeo para promocionar las energías renovables.

El impacto ambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es treinta y una veces superior al de las energías renovables según los resultados obtenidos por el estudio “Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad”, elaborado por AUMA y patrocinado por ocho instituciones. Entre estas instituciones se encuentran los órganos competentes de cinco gobiernos autonómicos, el de Aragón, Cataluña, Galicia, Navarra y País Vasco; el IDEA, el Cietmat y la Asociación de Productores de Energías Renovables- APPA.

Fuente de Energía	CO ₂	NO _x	SO ₂	Partículas solidas en suspensión	CO	Hidra-Carbuos	Residuos Nucleares	Total
Carbón	1058,2	2,986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1066,1
Gas natural	824,0	0,251	0,336	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0,0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eólica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

Tabla 1.2. Diferentes formas de producir electricidad para compararlo con el impacto ambiental (Emisiones de contaminantes – toneladas por GWh – en la producción de electricidad, para todo el ciclo de combustible – gas natural en ciclo combinado)

Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y Worldwatch Institute.

Por medio del uso de las energías renovables se pretende que las fuentes de obtención actuales como el petróleo, el carbón y el gas pasen a un segundo plano. Estas fuentes mencionadas son recursos del planeta limitados y no distribuidos de forma uniforme y equitativa por todo el mundo, por lo tanto con el modelo actual energético, las generaciones futuras se verán afectadas por el agotamiento de dichas fuentes de energía, comprometiendo el desarrollo de la humanidad.



1.10. Protocolo de Kioto y Cambio Climático.

El cambio climático supone en resumen un aumento de la temperatura del globo terráqueo. En un futuro este nuestro planeta tendrá que soportar consecuencias nefastas para la humanidad y su mencionado desarrollo. El cambio climático es uno de los puntos que se desean solucionar con el paso del tiempo y de una forma rápida para que los daños al medio ambiente sean mínimos, para ello como fuente de energía revolucionaria y solución básica y genérica del problema, aparecen las energías renovables.

Los datos muestran que la temperatura anual en Europa se ha incrementado entre los 0,1 y 1°C desde 1900. La década de los noventa fue la más calurosa del siglo pasado. El nivel del mar creció entre 10 y 25 cm en los últimos cien años, además se redujo la superficie de los cascos polares y de los hielos continentales durante el principio de este nuevo siglo.

Son cambios evidentes y la mayoría de las causas pueden atribuirse a la emisión de los gases de efecto invernadero y aerosoles por la actividad humana.

Los gobiernos ante estos hechos acordaron en 1997, el Protocolo de Kioto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU, UNFCCC. Este acuerdo entró en vigor justo después de que las cincuenta y cinco naciones que suman el 55% de las emisiones de los gases de efecto invernadero lo hayan ratificado.

En la actualidad, hay ciento veintinueve países, lo han ratificado alcanzando el 61,6% de las emisiones como indica el barómetro de la UNFCCC.

El objetivo del Protocolo de Kioto es conseguir reducir un 5,3% las emisiones de los gases considerados de efecto invernadero globales en el planeta, por debajo de los niveles de los años noventa para el periodo de tiempo desde el 2008 en adelante.

Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar el impacto global. Para ello contiene varios objetivos legalmente obligatorios páralos países que contienen una industria. Estos países deberán reducir las emisiones de los seis gases perjudiciales para tal efecto maligno del planeta, estos gases son:

- ❖ Dióxido de carbono CO₂
- ❖ Metano CH₄
- ❖ Óxido Nitroso N₂O

Además los gases fluorados de industria tales como:

- ❖ Hidrofluorocarburos HFC
- ❖ Perfluorocarbonos PFC
- ❖ Hexafluoruros de azufre SF₆



1.10.1. Protocolo de Kioto en España.

La unión Europea se comprometió dentro del nombrado protocolo a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero un 8% sobre los niveles de los 90s para el periodo comenzado en el año 2008.

Dentro de las negociaciones llevadas a cabo internamente en Europa para su reparto correcto de compromiso de la reducción de los gases, y con el objetivo de llegar a la convergencia económica europea, España se comprometió a no aumentar sus propias emisiones de gases de efecto invernadero por encima del quince por ciento sobre los niveles de los años noventa ya mencionados anteriormente, que son referencia y punto de partida de dicho tratado.

En Marzo de 2007, se estableció que el compromiso de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero sería como mínimo de un 20% y para el futuro 2020 reducido este en un 30% en los países desarrollados. Como objetivo obligatorio se ha establecido para la misma fecha, que el 20% de la energía consumida sea de origen renovable frente al actual 12% establecido en el libro blanco de las Energías Renovables. La perspectiva a más largo plazo será en el año 2050, es disminuir entre el 60 y el 80% de los gases totales contaminantes del planeta.

El Plan de Energías Renovables de 2005/2010 es el que actualmente se encuentra vigente que estableció como objetivo para el año 2010 la generación de un 12% de la energía primaria mediante las fuentes renovables.

Las energías renovables aportaron en 2008 el 7,6% del consumo de energía primaria en España, lo que supone un incremento de seis décimas con respecto al balance de años anteriores. Según los datos aportados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, el IDEA. Teniendo en cuenta que este crecimiento tiene como objetivo el 12% de consumo en renovables y que se desplazará hasta el año 2014.

Áreas Eléctricas	Incremento [2005+2006+2007] (MW)	Incremento [2007] (MW)	Objetivo PER [2005-2010] (MW)	Grado Cumplimiento global	Situación 2007 (MW)	Situación Final 2010 (MW)
Hidroeléctrica	207	59	810	25,5%	4.851	5.496
Biomasa	83	36	973	8,5%	427	1.317
Co-Combustión	0	0	722	0,0%	0	722
Eólica	6.793	3.374	12.000	56,6%	15.110	20.155
Solar Fotovoltaica	480	341	363	132,1%	516	400
Biogás	28	8	94	29,4%	169	235
Solar Termoeléctrica	11	0,08	500	2,2%	11	500
TOTAL	7.601	3.818	15.462	49,2%	21.084	28785(*)

Áreas Térmicas	Incremento [2005+2006+2007] (ktep)	Incremento [2007] (ktep)	Objetivo PER [2005-2010] (ktep)	Grado Cumplimiento global	Situación 2007 (ktep)	Situación Final 2010 (ktep)
Biomasa	71	15	583	12,2%	3.499	4.070
Solar Térmica	39	19	325	12,1%	93	376
TOTAL	111	34	908	12,2%	3.592	4.446

Biocarburantes (ktep)	819	499	1.972	41,52%	1.047	2.200 ktep
-----------------------	-----	-----	-------	--------	-------	------------

(*)Sin hidráulica >50MW

Figura 1.9. PER 2005-2010.

Fuente de información: GreenPeace página oficial.



1.11. Beneficios de la Energía Fotovoltaica.

Una de las inversiones más rentables en la actualidad, son los sistemas fotovoltaicos ya que utilizan el Sol como fuente única y principal de energía. Esto supone para el sistema un gran rendimiento en su multitud de ventajas.

Pueden ser numerosos los usos que se dan a la energía Solar Fotovoltaica. Los sistemas aislados de la red pueden tener usos varios, como viviendas, bombeos, etc... Las instalaciones pequeñas como sería el caso de viviendas, pueden ser utilizadas mediante instalaciones conectadas a la red eléctrica. La energía Solar Fotovoltaica representa una buena solución para aquellas zonas donde la energía no puede llegar en condiciones óptimas. Por otro lado esta energía renovable puede hacerse frente a la demanda de energía punta dentro de la demanda energía en este país.

Los beneficios que se obtienen de la Energía Solar Fotovoltaica son numerosos entre los que destacan:

- ❖ Bajo impacto medioambiental.
- ❖ Elevada calidad de la energía
- ❖ Fuente limpia.
- ❖ Fuente inagotable.

Una de las principales acciones positivas que supone el uso de la energía Solar Fotovoltaica actualmente es la reducción del porcentaje de CO₂ en emisiones.

Según fuentes del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), cada KWh generado con energía solar evita la emisión a la atmosfera de un kilo de CO₂ aproximadamente, comparándolo con la generación eléctrica con el carbón que es aproximado de unos 400 gramos de CO₂ en el caso de compararlo con la generación eléctrica con gas natural como fuente de energía.

1.12. Historia de la Energía Fotovoltaica.

Dentro del desarrollo tecnológico previsto para años futuros, actualmente las energías Renovables están a la cabeza. Se exponen numerosas planificaciones donde se espera un incremento de su uso.

España se encuentra en la segunda posición de productores europeos de energía solar fotovoltaica. La fabricación en España abastecer al 30% del mercado europeo y al 8% mundial. Dentro de España por cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1500 kW h de energía, cifra similar a las cifras que se barajan en las regiones de América Central y del Sur. España es un país y una zona muy privilegiada climatológicamente frente al resto de los países Europeos.

La primera fábrica española consta del año 2009 en funcionamiento desde ese año con silicio y producirá 2.500 toneladas anuales. En el mes de Enero se ha cerrado el núcleo de accionistas de otra fábrica española de Si, su situación geográfica está dentro de la zona regional de Cádiz, concretamente en Los Barrios.



La instalación está operativa desde el año 2009, y supone una inversión de unos 250 millones de euros, convirtiéndose en la séptima factoría de este material en todo el mundo.

La primera central fotovoltaica de 100 kWp fue instalada por la empresa Iberdrola en San Agustín de Guadalix en el año 1984. Si se habla del auge de las instalaciones solares en España, se habla de los años noventa, donde el número de instalaciones solares constaba de cinco, mientras que a finales del año 2006 había en España aproximadamente unas ocho mil instalaciones. Durante estos años la energía vendida a la Red se ha multiplicado por cien: En 1998 se utilizaba un GW h en 2006 se registró una utilización de 102 GW h.

En este año 2006, dentro de Europa, en la unión existía una potencia instalada de 3.311 MWp (el 92% en el país de Alemania), este dato era un 60% superior al de 2005. Igualmente, se incrementó la potencia en 1.238 MWp, de los cuales en Alemania se realizaron un 93% que son 1.150 MWp; este aumento fue muy superior al experimentado por los países de Japón y USA.

El “report Solar Generation 2007”, informe que presentaba en el marco del Congreso de la Energía Solar concentrada (CSP Congress) subrayaba el rápido crecimiento de la industria solar y pronosticaba la capacidad de generar unos 300 millones de euros al año para el 2030, además de todo esto, es importante destacar la creación de 6,5 millones de puestos de empleo. Según el informe, los datos principales de la energía solar fotovoltaica en 2030 en el mundo global serían:

- ❖ Potencia Instalada: 1.272.000 MW
- ❖ Producción de Electricidad: 1,8 billones de kWh (conversión 1.802 TWh)
- ❖ Consumidores con conexión a Red: 776 millones de usuarios
- ❖ Consumidores sin conexión a Red: 2.894 millones de usuarios
- ❖ Potencial de creación de empleo: 6.33 millones de puestos de trabajo
- ❖ Valor del mercado eléctrico: 318.000 millones de euros al año.
- ❖ Coste de la electricidad solar: variación entre 0,07 a 0,13 €/kWh dependiendo del lugar o región.
- ❖ Reducción acumulativa de CO₂: 6.671 millones de toneladas de CO₂.
- ❖ Demanda mundial de electricidad abastecida con la energía solar fotovoltaica: 6,4 a 9,4% en el año 2030, y en el año 2040 de 20 a 28%.

En España el año 2008 terminó con una potencia instalada de 3.120 MW, lo cual supone seis veces más que el año anterior, con un liderazgo en la utilización de seguidores solares y potenciadores tecnológicos como módulos solares de capa delgada y de concentración, aportando un 7% de la producción mundial de generadores fotovoltaicos.

España es un país que se encuentra a la cabeza de Europa en energía solar termoeléctrica. Se coloca en segunda posición en energía eólica y fotovoltaica; y es el tercero en mini hidráulica.

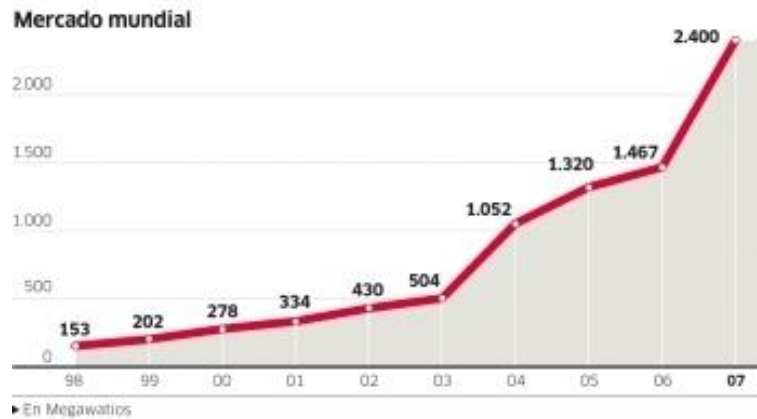


Figura 1.10. Crecimiento del Mercado Mundial Fotovoltaica 2000 2007.

Fuente de la gráfica: www.público.es

Históricamente, los Estados Unidos lideraron la instalación de energía fotovoltaica desde sus inicios hasta 1997, cuando fueron alcanzados por Japón, que mantuvo el liderato hasta que Alemania la sobrepasó en 2005, manteniendo esa posición desde entonces. A comienzos de 2014 Alemania es, junto a Italia, Japón, China y Estados Unidos, uno de los países donde la fotovoltaica está experimentando un crecimiento más vertiginoso.

Alemania es uno de los líderes mundiales en la instalación de energía fotovoltaica, con una potencia instalada a finales de 2012 superior a los 32 gigavatios (GW). Sólo en 2011, Alemania instaló cerca de 7,5 GW, y la fotovoltaica produjo 18 TWh de electricidad, el 3% del total consumido en el país.

Alemania	España
Política energética a largo plazo	Ausencia total de política energética
Mercado eléctrico liberalizado	Cártel formado por unas pocas compañías privilegiadas bajo el paraguas de un mercado que solo está liberalizado sobre el papel
Apoyo real y sin fisuras al desarrollo de las Energías Renovables	Absoluta falta de coherencia entre el discurso político y los hechos
Implicación de las grandes Eléctricas en el desarrollo de las Renovables por medio de la concesión de "privilegios verdes"	Oposición total de las grandes Eléctricas a tecnologías que no acaparan, como es el caso de la Fotovoltaica
Cumplimiento de los plazos previstos para la actualización de las nuevas legislaciones	Incumplimientos reiterados de los plazos establecidos para cualquier normativa
Establecimiento de mesas de negociación con los portavoces de los representantes del sector	Reuniones con las Asociaciones del sector convocadas de forma aleatoria y sin mayores objetivos que los de obtener titulares para los periódicos
Negociaciones ganar-ganar: ambas partes ceden en unos puntos para ganar en otros hasta que se alcanza un acuerdo consensuado y beneficioso para todos	Negociaciones ganar-perder: el Ministerio no valora las solicitudes del Sector y legisla de forma unilateral y sin consenso
Respeto absoluto a la seguridad jurídica del país	Aplicación de medidas retroactivas que atentan contra la seguridad jurídica y destrazan la imagen del país en el exterior
Sector unido y representado por una única voz que le proporciona mucha fuerza	Sector atomizado, dividido, y con enfrentamientos internos que lo debilitan

Figura 1.11. Diferencias entre España y Alemania a la hora de regular el Mercado de Fotovoltaica.

Fuente de información: JumanjiSolar página oficial.

El mercado fotovoltaico en Alemania ha crecido considerablemente desde principios del siglo XXI gracias a la creación de una tarifa regulada para la producción de energía renovable, que fue introducida por la "German Renewable Energy Act", ley publicada el año 2000. Desde entonces,



el coste de las instalaciones fotovoltaicas ha descendido más del 50% en cinco años, desde 2006. Alemania se ha marcado el objetivo de producir el 35% de la electricidad mediante energías renovables en 2020 y alcanzar el 100% en 2050.

El país más emergente en la última década con esta tecnología de las energías renovables es, China; la energía fotovoltaica es una de las mayores industrias de la República Popular China. El país asiático cuenta con unas 400 empresas fotovoltaicas, entre las que destacan Suntech y Yingli, y produce aproximadamente el 25% de los productos fotovoltaicos que se fabrican en el mundo.

La fotovoltaica se ha desarrollado espectacularmente en el país asiático en años recientes, superando incluso las previsiones iniciales. A finales de 2011 China dobló su potencia fotovoltaica instalada respecto al año anterior, hasta alcanzar los 2900 MW. Este incremento en la potencia instalada se debió, principalmente, a un crecimiento en el número de instalaciones residenciales. Asimismo, la tarifa de inyección bajó hasta 0,80 yuanes por kWh, lo que significó llegar al mismo nivel de las tarifas aplicables a las plantas de carbón.



Figura 1.12. Productora de paneles fotovoltaicos china.

Fuente de la imagen: www.energias-renovables.com

Batiendo todas las previsiones, China añadió 5 GW de energía fotovoltaica en 2012, llevando la potencia total instalada en el país hasta un total de más de 8000 MW, y según las previsiones tenía previsto instalar hasta 6,8 GW adicionales más en 2013, superando ampliamente la barrera de los 10 GW. Pulverizando de nuevo todas las estimaciones, a comienzos de 2014 se hizo público que China contaba ya con cerca de 20 GW de potencia fotovoltaica, tras instalar 12 GW a lo largo de 2013.

Debido a tan rápido crecimiento, las autoridades chinas se han visto obligadas a reevaluar en varias ocasiones su objetivo de potencia fotovoltaica para 2015, establecido en 40 GW. Este progresivo aumento indica que seguramente la previsión para 2020 también se verá incrementada, seguramente de cincuenta GW hasta cien GW.

Este crecimiento refleja el abrupto descenso de costes de la energía fotovoltaica, que actualmente comienza a ser una opción más barata que otras fuentes de energía, tanto a precios minoristas como comerciales.

Italia se encuentra entre los primeros países productores de electricidad procedente de energía fotovoltaica. En diciembre de 2012, la potencia total instalada se acercaba a los 17 GW, suponiendo una producción tan importante que varias centrales de gas operaban a mitad de su potencial durante el día. El sector ha llegado a proporcionar trabajo a unas cien mil personas, especialmente en el sector del diseño e instalación de dichas plantas solares.

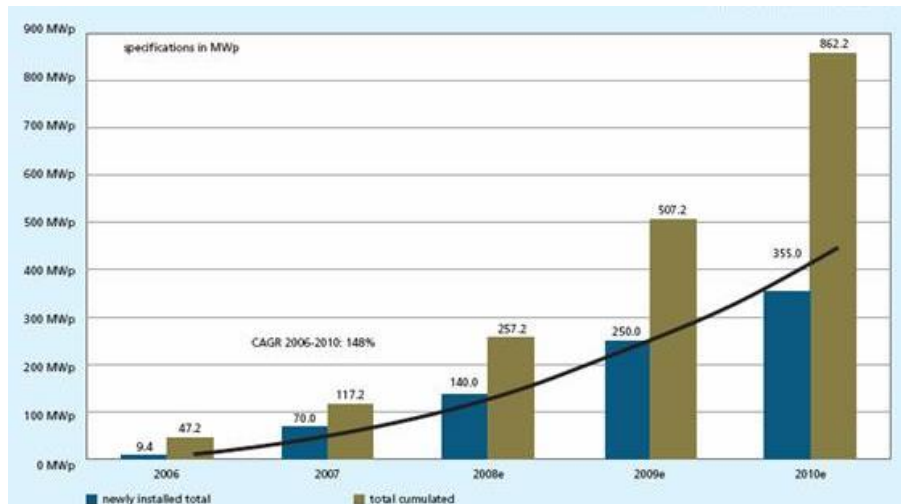


Figura 1.13 Proyección Capacidad Instalada Fotovoltaica en Italia.

Fuente de la gráfica: www.eupd-research.com/

La energía total producida mediante fotovoltaica alcanzó en 2011 los 10 730 GWh, cerca de un 3,2% del total de la demanda de electricidad; 332,3 TWh. Mientras que durante 2012, la producción fotovoltaica proporcionó el 5,6% del total de la energía consumida en el país durante el año. El crecimiento ha sido exponencial: la potencia instalada se triplicó en 2010 y se cuadruplicó en 2011.

La energía fotovoltaica en Japón, se ha expandido rápidamente desde la década de 1990. El país es uno de los líderes en la manufactura de módulos fotovoltaicos y se encuentra entre los cinco primeros en potencia instalada, con casi siete mil MW a finales de 2012, la mayor parte conectada a red. La irradiación en Japón es óptima, situándose entre 4,3 y 4,8 [kWh m² día], convirtiéndolo en un país idóneo para el desarrollo de este tipo de energía.



Figura 1.14. Alimentación en su totalidad por paneles fotovoltaicos diseñados por el arquitecto Toyo Ito Architects para los Juegos Mundiales.

Fuente de la imagen: www.arquitecturaviva.com

La venta de módulos fotovoltaicos para proyectos comerciales ha crecido rápidamente tras la introducción por parte del Gobierno japonés en julio de 2012 de una tarifa para el incentivo de la fotovoltaica tras el accidente nuclear de Fukushima y la paralización de la mayoría de las centrales nucleares que tiene el país. Sólo durante el primer semestre de 2012, se vendieron módulos por un equivalente de 1072 MW, según se desprende de los datos de la Asociación Japonesa de Energía Fotovoltaica, Japan Photovoltaic Energy Association, JPA.

La mayoría de ese volumen, 738 MW, procede de fabricantes locales, entre los que destacan Kyocera, Sharp Corporation, Mitsubishi o Sanyo, mientras que 335 MW fueron importados. Tradicionalmente, el mercado fotovoltaico ha estado muy desplazado al segmento residencial, copando hasta el 97% de la capacidad instalada en todo el país hasta 2012. Aunque esta tendencia se está invirtiendo, todavía más del 75% de las células y módulos vendidos en Japón a principios de 2012 tuvieron como destino proyectos residenciales, mientras que cerca del 9% se emplearon en instalaciones fotovoltaicas comerciales.

La potencia total fotovoltaica instalada en Japón superó los 10 GW en agosto de 2013, excediendo los 10,5 GW a finales de ese mes.

Estados Unidos es desde 2010 uno de los países con mayor actividad en el mercado fotovoltaico, y cuenta con numerosas plantas de conexión a red. A mediados de 2013, Estados Unidos superó los 10 GW de potencia fotovoltaica instalada.



Figura 1.15. Media diaria de irradiación en USA

Fuente de la imagen: www.suelosolar.es

Aunque Estados Unidos no mantiene una política energética nacional uniforme en todo el país en lo referente a fotovoltaica, muchos estados han fijado individualmente objetivos en materia de energías renovables, incluyendo en esta planificación a la energía solar en diferentes proporciones. En este sentido, el gobernador de California Jerry Brown ha firmado una legislación requiriendo que el 33% de la electricidad del estado se genere mediante energías renovables a finales de 2020.

Un informe privado recoge que la energía solar fotovoltaica se ha expandido rápidamente durante los últimos 8 años, creciendo a una media del 40% cada año. Gracias a esta tendencia, el coste del kWh producido mediante energía fotovoltaica se ha visto enormemente reducido, mientras que el coste de la electricidad generada mediante combustibles fósiles no ha dejado de incrementar. Como resultado, el informe concluye que la fotovoltaica alcanzará la paridad de red frente a las fuentes de energía convencionales en muchas regiones de Estados Unidos en 2015.

Actualmente la mayoría de las instalaciones son conectadas a red y utilizan sistemas de balance neto que permiten el consumo de electricidad nocturno de energía generada durante el día. Nueva Jersey lidera los Estados con la ley de balance neto menos restrictiva, 145 mientras California lidera el número total de hogares con energía solar. Muchos de ellos fueron instalados durante la iniciativa million solar roof, un millón de tejados solares.

La tendencia y el ritmo de crecimiento actuales indican que en los próximos años se construirán un gran número de plantas fotovoltaicas en el sur y suroeste del país, donde el terreno disponible es abundante, en los soleados desiertos de California, Nevada y Arizona. Las empresas están adquiriendo cada vez en mayor medida grandes superficies en estas zonas, con la intención de construir mayores plantas a gran escala.

La mayor instalación del mundo, Agua Caliente Solar Project, con una potencia total de 247 MW, se encuentra en Yuma County, Arizona.



Figura 1.16. Fachada fotovoltaica en MNACTE, Tarrasa (España).

Fuente de la imagen: www.bcn.cat

España es uno de los países de Europa con mayor irradiación anual. Esto hace que la energía solar sea en este país más rentable que en otros. Regiones como el norte de España, que generalmente se consideran poco adecuadas para la energía fotovoltaica, reciben más irradiación anual que la media en Alemania, país que mantiene desde hace años el liderazgo en la promoción de la energía solar fotovoltaica.

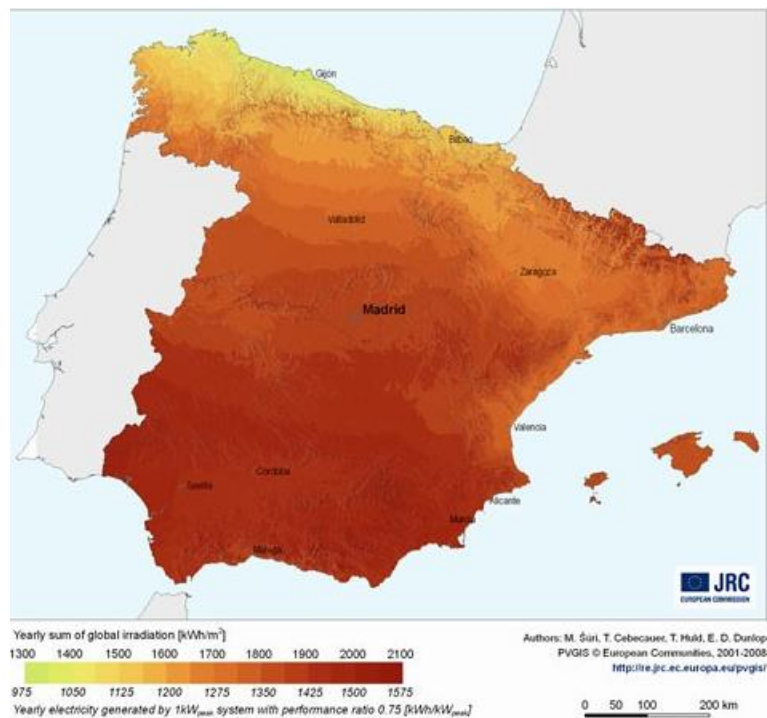


Figura 1.17. Irradiación solar global y potencia eléctrica solar en España.

Fuente de la imagen: <http://te.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



En términos de producción energética, en 2010 la energía fotovoltaica cubrió en España aproximadamente el 2% de la generación de electricidad, mientras que en 2011 representó el 2,9% de la generación eléctrica, según datos del operador, Red Eléctrica. A finales de 2013 la potencia fotovoltaica instalada en España ascendía a 4 679 MW.

Por último la situación en Latinoamérica, la fotovoltaica ha comenzado a despegar en los últimos años. Se ha propuesto la construcción de un buen número de plantas solares en diversos países, a lo largo de toda la región, con proyectos incluso por encima de 100 MW en Chile.

México tiene un enorme potencial en lo que respecta a energía solar. Un 70% de su territorio presenta una irradiación superior a 4,5 [kWh/m²/día], lo que lo convierte en un país muy soleado, e implica que utilizando la tecnología fotovoltaica actual, una planta solar de 25 km² en cualquier lugar del estado de Chihuahua o el desierto de Sonora, que ocuparía el 0,01% de la superficie de México, podría proporcionar toda la electricidad demandada por el país.

México de hecho ya lidera la producción solar en Latinoamérica. Una planta fotovoltaica de 46,8 MW se encuentra en construcción en Puerto Libertad (Sonora). La planta, originalmente diseñada para albergar treinta y nueve MW, se amplió para permitir la generación de 106 728 000 kWh/año. Otro proyecto de treinta MW se encuentra en construcción en La Paz (Baja California Sur). Una vez completado, proporcionará electricidad a unas ciento sesenta mil viviendas.

Se espera que México experimente un mayor crecimiento en los próximos años, con el fin de alcanzar el objetivo de cubrir el 35% de su demanda energética a partir de energías renovables en 2024, según una ley aprobada por el gobierno mexicano en 2012.

Otros países sudamericanos han comenzado a instalar plantas fotovoltaicas a gran escala, entre ellos Chile y Perú. Brasil en cambio está experimentando un crecimiento más lento del sector, en parte debido a la elevada generación mediante energía hidráulica en el país, aunque el estado de Minas Gerais lidera el esfuerzo, tras la aprobación por parte del gobierno brasileño de una fábrica de células y paneles fotovoltaicos en dicha región.

1.13. Mercado Fotovoltaico Actual.

Actualmente la energía solar fotovoltaica para la edificación, se guía y rige por el Código Técnico de la Edificación.

Por un lado las tarifas y las primas van a ser modificadas. El nuevo Código Técnico de la Edificación establece un aporte mínimo de la energía fotovoltaica en las instalaciones de nueva construcción, Artículo 55.HE5, pudiendo desacelerar las inversiones en energía renovable de este tipo.

La potencia mínima exigida dependerá de la zona climática donde se ubique la instalación, el tipo de uso del edificio y la superficie construida del mismo. El ámbito de aplicación se reduce a Centros comerciales, oficinas, hoteles, etc... que cumplan una superficie de instalación no inferior a 5.000 m² construidos.

La determinación de la potencia pico a instalar para cada uso se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$P = C \times (A \times S + B)$$



Donde:

- ❖ P: es la potencia pico mínima instalada en kWp. La potencia Pico es la potencia máxima del generador FV en condiciones estándar de medida. (Irradiación de 1.000 W/m², distribución espectral AM 1,5 G con la temperatura de célula de 298 K).
- ❖ C: es el coeficiente climático, que dependerá de la zona climática donde se encuentre el edificio bajo la aplicación de la exigencia. Obtiene valores desde 1,0 para la zona climática menos favorable, hasta el valor de 1,5 para la zona climática más favorable. Se definen 5 zonas climáticas.
- ❖ A y B son dos coeficientes que toman distintos datos y valores según el uso del edificio. A tiene como magnitud kW/m² y el coeficiente B tiene kWp.
- ❖ S: es la superficie construida por edificio en m².

La potencia mínima instalada cuando se superé o se iguale el límite de la tabla II.1 será de 6,25 kWp. La potencia máxima en la aplicación a instalar será exigencia de 62,5 kWp.

Desde el punto de vista económico la regulación de la tarifa según el Real Decreto 661/2007 ha puesto en discrepancia al mercado FV. Este RD, tiene en cuenta un plazo de mantenimiento de las tarifas y primas: En el artículo 37 del RD (Real Decreto) se estableció como objetivo de potencia instalada de 371 MW. Aun así, según el Artículo 22 cuando la CNE indicase que el 85% de todo el total de los megavatios, es decir, 315 MW de los 371 totales; estuvieran conectados y facturando dentro del sistema electrónico, se establecería un plazo de no menos de un año para poder seguir inscribiéndose en el registro de instalaciones de un especial régimen.

Según la comparecencia, con objeto de continuar con la implantación de esta tecnología se aumenta el objetivo vigente de 371 MW de potencia instalada conectada a la red, recogido en el RD 661/2007, de 25 de Mayo, a una potencia de 1.200 MW.

En el mes de Mayo de 2008, se alcanza a 1.000 MW la potencia instalada. Con la implantación del RD 1578/2008 se busca una continuidad regulada en dentro de las instalaciones pertenecientes al subgrupo b.1.1 recogidas en el artículo 2 del RD 661/2007, que se clasifican en instalaciones FV de dos tipos:

- ❖ Ubicadas en cubiertas, fachadas o sobre todo en las estructuras fijas para aparcamientos o de sombreamiento.
- ❖ Las instalaciones no recogidas en el punto anterior.

El RD 1578/2008 establece unos cupos de potencia de cada año para la asignación de la prima según el registro y las inscripciones de las instalaciones en régimen de producción especial.

El sector FV tendrá que ajustar la evolución de crecimiento de los últimos años. Actualmente este índice de crecimiento se sitúa en torno a 400% en el último año y la desaceleración podría situarlo alrededor del 20%. Un crecimiento estable y sostenido como plantean la Asociación de la Industria FV (ASIF) y la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). Este plan se denomina "Fotovoltaica 20". La energía FV tiene un crecimiento del 20% anual, lo que permite equiparar el coste del kW FV al precio doméstico de la electricidad en veinte céntimos de euro por kilovatio hora, disponer de unos 20.000 MW instalados y cubrir el 20% del crecimiento de la demanda eléctrica prevista hasta el final de los próximos diez años.

1.14. Tecnología de fabricación de una célula fotovoltaica.

La tecnología del Silicio como material de base para la fabricación de células fotovoltaicas, está sujeta a constantes variaciones, experimentando diferencias importantes según los distintos fabricantes. De forma muy resumida, el proceso de fabricación de una célula mono o policristalina se puede dividir en las siguientes fases:

En la primera fase de obtención del silicio es a partir de las rocas ricas en cuarzo (formadas principalmente por SiO_2 , muy abundantes en la naturaleza) y mediante el proceso de reducción con carbono, se obtiene Silicio con una pureza aproximada del 99%, que no resulta suficiente para usos electrónicos y que se suele denominar Silicio de grado metalúrgico.

La industria de semiconductores purifica este Silicio por procedimientos químicos, normalmente destilaciones de compuestos colorados de Silicio, hasta que la concentración de impurezas es inferior al 0.2 partes por millón. El material así obtenido suele ser llamado Silicio grado semiconductor y aunque tiene un grado de pureza superior al requerido en muchos casos por las células solares, ha constituido la base del abastecimiento de materia prima para aplicaciones solares, representando en la actualidad casi las tres cuartas partes del abastecimiento de las industrias de fabricación de células.

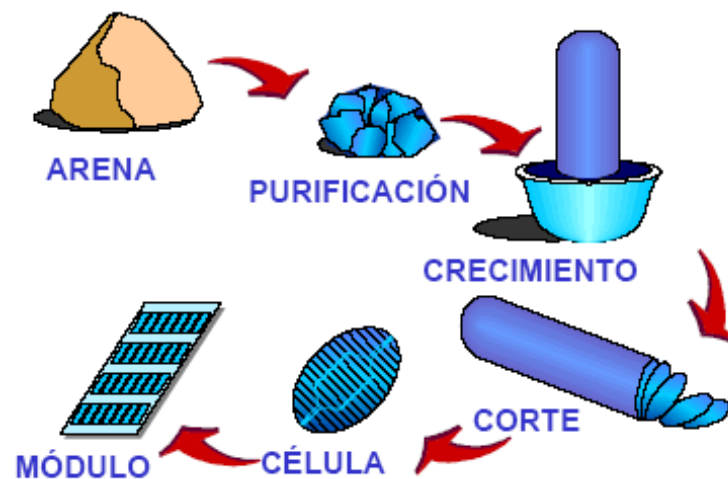


Figura 1.18. Esquema del proceso de fabricación de la célula.

Fuente del esquema: www.ujaen.es

Sin embargo, para usos específicamente solares, son suficientes (dependiendo del tipo de impureza y de la técnica de cristalización), concentraciones de impurezas del orden de una parte por millón. Al material de esta concentración se le suele denominar Silicio grado solar.

Existen actualmente tres posibles procedimientos en distintas fases de experimentación para la obtención del Silicio grado solar, que proporcionan un producto casi tan eficaz como el del grado.

Una vez fundido el Silicio, se inicia la cristalización a partir de una semilla, correspondiente a la segunda fase de obtención del silicio. Dicha semilla es extraída del silicio fundido, este se va solidificando de forma cristalina, resultando, si el tiempo es suficiente, un mono cristal. El procedimiento más utilizado en la actualidad es el convencional método Czochralsky,

pudiéndose emplear también técnicas de colado. El Silicio cristalino así obtenido tiene forma de lingotes. También se plantean otros métodos capaces de producir directamente el Silicio en láminas a partir de técnicas basadas en la epitaxia, en crecimiento sobre soporte o cristalización a partir de Si mediante matrices.

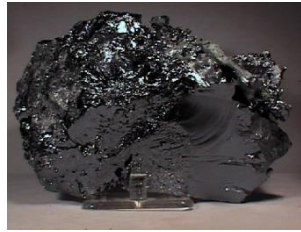


Figura 1.19. Imagen de un mineral del silicio.

Fuente de la imagen: www.ujaen.es

Se obtienen principalmente dos tipos de estructuras: una la monocristalina (con un único frente de cristalización) y la otra la policristalina (con varios frentes de cristalización, aunque con unas direcciones predominantes). La diferencia principal radica en el grado de pureza del silicio durante el crecimiento/recristalización.

Para la obtención de las obleas es la correspondiente tercera fase. Dicha fase es el siguiente proceso de corte que tiene gran importancia en la producción de las láminas obleas a partir del lingote, ya que supone una importante pérdida de material (que puede alcanzar el 50%). El espesor de las obleas resultantes suele ser del orden de 2-4mm. Dentro de la fabricación de los módulos, una vez obtenida la oblea, es necesario mejorar su superficie, que presenta irregularidades y defectos debidos al corte, además de retirar de la misma los restos que puedan llevar (polvo, virutas), mediante el proceso denominado decapado.

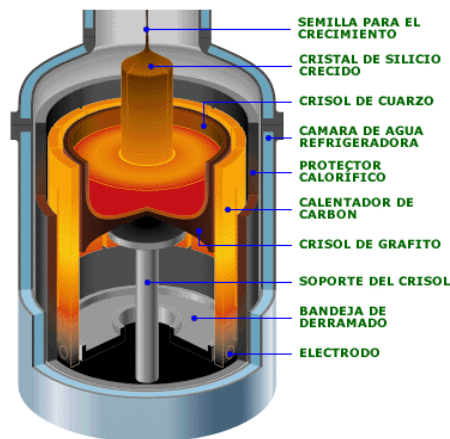


Figura 1.20. Esquema de obtención de los lingotes de Silicio por el método Czochralsky.

Fuente del esquema: www.ujaen.es

Con la oblea limpia, se procede al texturizado de la misma (siempre para células monocristalinas, ya que las células policristalinas no admiten este tipo de procesos), aprovechando las propiedades cristalinas del Silicio para obtener una superficie que absorba con más eficiencia la radiación solar incidente.

Posteriormente se procede a la formación de una unión PN mediante deposición de distintos materiales (compuestos de fósforo para las partes N y compuestos de boro para las partes P, aunque normalmente, las obleas ya están dopadas con boro), y su integración en la estructura del silicio cristalino.

El siguiente paso es la formación de los contactos metálicos de la célula, en forma de rejilla en la cara iluminada por el Sol, y continuo en la cara posterior. La formación de los contactos en la cara iluminada se realiza mediante técnicas serigráficas, empleando más recientemente la tecnología láser para obtener contactos de mejor calidad y rendimiento.

El contacto metálico de la cara sobre la cual incide la radiación solar suele tener forma de rejilla, de modo que permita el paso de la luz y la extracción de corriente simultáneamente. La otra cara está totalmente recubierta de metal. Una célula individual normal, con un área de unos 75cm² y suficientemente iluminada es capaz de producir una diferencia de potencial de 0.4V y una potencia de 1W. Finalmente, puede procederse a añadir una capa antirreflexiva sobre la célula, con el fin de mejorar las posibilidades de absorción de la radiación solar.

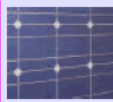

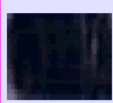
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Tabla 1.3. Tabla resumen de las tecnologías de las células solares.

Fuente de la imagen: www.ujaen.es

Una vez concluidos los procesos sobre la célula, se procede a su comprobación, previamente a su encapsulado, interconexión y montaje en los módulos. En cuanto a la eficiencia de las diferentes tecnologías fotovoltaicas se pueden indicar ciertos valores aproximados. Para el caso del Silicio monocrystalino ésta se sitúa en, aproximadamente entre un 16 y un 25% mientras que en el policrystalino actualmente es del 12-13% siendo posible que se eleve a corto plazo en un nivel similar al alcanzado ya para el monocrystalino.

Como resumen, en relación a la tecnología solar del silicio mono o policrystalino, se puede indicar que su situación es madura, pero no obstante existe un amplio aspecto de posibles mejoras, muchas de ellas analizadas y verificadas en profundidad en laboratorios.

Otros posibles materiales para la fabricación de células solares es el Silicio amorfo. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor, lo cual presenta grandes ventajas. Adicionalmente su proceso de fabricación es, al menos teóricamente, más simple y sustancialmente más barato. La eficiencia es comparativamente algo menor que en los casos anteriores (6-8%) y todavía no se dispone de datos suficientes en cuanto a su estabilidad. Su principal campo de aplicación en la actualidad son los relojes, juguetes, calculadoras y otras aplicaciones de consumo. Dentro de las aplicaciones energéticas equivalentes a las de la



tecnología del Silicio cristalino, su versatilidad es muy adecuada para la confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios.



CAPÍTULO 2

TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.

Existen dos tipos de aprovechamiento de la energía solar:

- ❖ Sistemas aislados.
- ❖ Sistemas conectados a la red eléctrica convencional.

2.1.1. Sistemas aislados (Sistema Stand-Alone).

Los sistemas aislados son sistemas de energía solar que se caracterizan por el uso de baterías o acumuladores, puesto que es necesario un sistema de acumulación que nos proporcione energía en las horas del día o la noche en las que la intensidad lumínica no sea suficiente para ofrecer la electricidad necesaria. Por esto, durante las horas de luz del día en las que se consume menos energía de la que se produce, la energía sobrante es la que se debe almacenar para utilizar en las horas necesitadas.

2.1.1.1. Elementos propios del sistema.

Los principales componentes que conforman un sistema aislado fotovoltaico son:

- ❖ Módulos fotovoltaicos.
- ❖ Regulador de carga.
- ❖ Inversor AC/DC.
- ❖ Baterías de acumulación.



Figura 2.1. Esquema de instalación híbrida aislada de la red.

El regulador de carga será usado para cargar en el sistema la energía. Como característica principal destacar que protege a la batería de sobrecargas por parte del generador fotovoltaico y de la descarga por exceso de uso. Puesto que ambos hechos afectan en el correcto funcionamiento del sistema.

Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica conectada. Las baterías que se utilizan son de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción.



Las baterías para el uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos mínimos para ser utilizados en este tipo de sistemas híbridos aislados:

- ❖ Mantenimiento casi nula de los acumuladores.
- ❖ Elevado número de ciclos de carga-descarga de las baterías.
- ❖ Bajo valor de autodescarga de las baterías.
- ❖ Larga vida útil de las mismas.

La función del inversor en los sistemas aislados, al igual que en los sistemas conectados a red, es la de transformar corriente continua, DC producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna, AC, necesaria para la alimentación directa de los equipos de los usuarios.

El inversor DC/AC tiene que estar dimensionado para poder alimentar directamente la carga que se le quiere conectar. Para estas instalaciones aisladas, el uso de un inversor es incluso opcional, se podría elegir una forma alternativa por medio de alimentar la carga directamente con corriente continua de baja tensión.

2.1.1.2. Aplicaciones de los sistemas aislados.

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

- ❖ Utilizando estos sistemas aislados para los equipos electrónicos de satélites y naves espaciales.
- ❖ Sector de gran consumo de los usuarios como ejemplos cotidianos de:
 - ✓ Calculadoras.
 - ✓ Relojes.
 - ✓ etc.
- ❖ Existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso para vivir, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica, fiable y práctica para llevar hasta allí la energía. Son ejemplos característicos: repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc...
- ❖ La señalización marítima y terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos cotidianos como:
 - ✓ Balizamiento de aeropuertos.
 - ✓ Señalización de carreteras.
 - ✓ Señalización de puertos.
 - ✓ etc.



Figura 2.2. Esquema de instalación híbrida aislada para señalización marítima.

- ❖ En pozos alejados de la red eléctrica en campos de cultivo o fincas aisladas por su tamaño, para servir energía a el bombeo. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las

necesidades ya que en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce. En estos sistemas el almacenamiento de energía suele ser en forma de energía potencial, bombeando el agua a depósitos elevados.

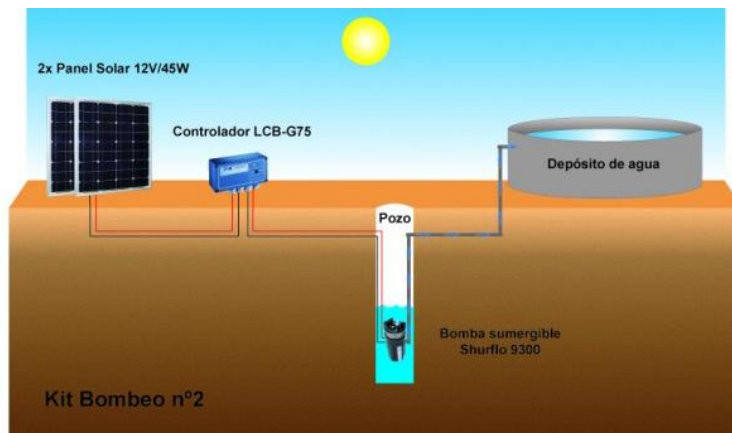


Figura 2.3. Esquema de instalación híbrida aislada para utilización de bombeo.

- ❖ En parajes naturales, donde por motivos de protección ambiental se recomienda no instalar tendidos eléctricos aéreos, resulta más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles.
- ❖ Electrificación de viviendas aisladas, si la distancia del punto de consumo a la red eléctrica es excesiva.

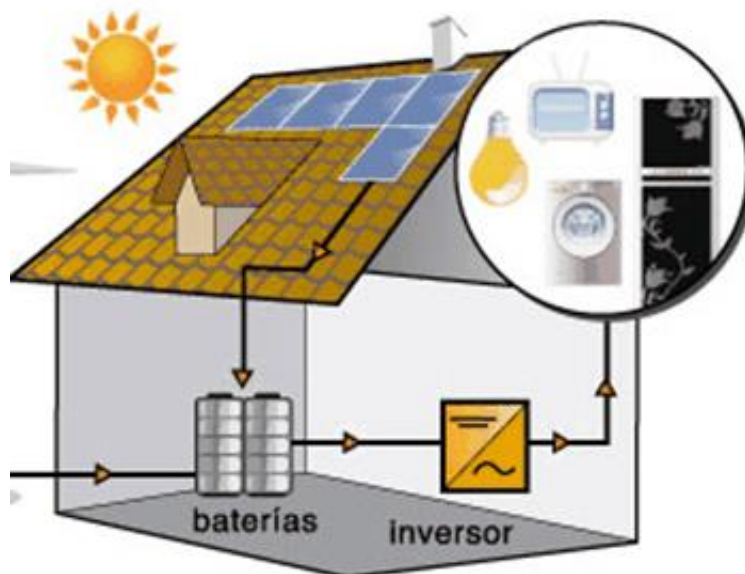


Figura 2.4. Esquema de instalación híbrida aislada para vivienda aislada.

2.1.2. Sistemas conectados a la red.

Los sistemas interconectados están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional de cada país. En las horas de irradiación solar escasa o nula, generalmente en horas nocturnas, cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red la que proporciona la energía requerida. Viceversa, si durante las horas de



irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía de la que gasta, ésta se vierte a la red común.

El usuario que realiza una inversión de este tipo de instalaciones, sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora eléctrica al precio establecido, pero además se convierte en propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar los kWh que produce.

Para que estas instalaciones sean técnicamente viables es necesario:

- ❖ La existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.
- ❖ La determinación con la compañía distribuidora, del punto de conexión entre ambas generaciones de energía.
- ❖ Diseñar un sistema que incluya equipos de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo a la legislación vigente.
- ❖ Una instalación realizada por un instalador especializado y altamente cualificado.

2.1.2.1. Elementos propios del sistema conectado a red.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “grid connected” son:

- ❖ Módulos fotovoltaicos (al igual que en el caso anterior).
- ❖ Inversor para la conexión a red.
- ❖ Protecciones del sistema.
- ❖ Contador de energía bidireccional.

El inversor en este caso es uno de los componentes más importante, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga.

Los inversores o acumuladores de estos sistemas están para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico.

Finalmente, el contador de energía mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su periodo de funcionamiento.

2.1.2.2. Aplicaciones para un sistema conectado a red.

Las principales aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica común son los siguientes casos prácticos:

- ❖ Los sistemas modulares en los tejados de las viviendas de fácil instalación donde se aprovecha la superficie del propio tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos. El peso de los paneles sobre el tejado no supone una sobrecarga para la mayoría de los tejados existentes. Una instalación de unos tres kWpico que ocupa cerca de 30 m² de tejado, inyectaría a la red tanta energía como la consumida por la vivienda a lo largo del año.

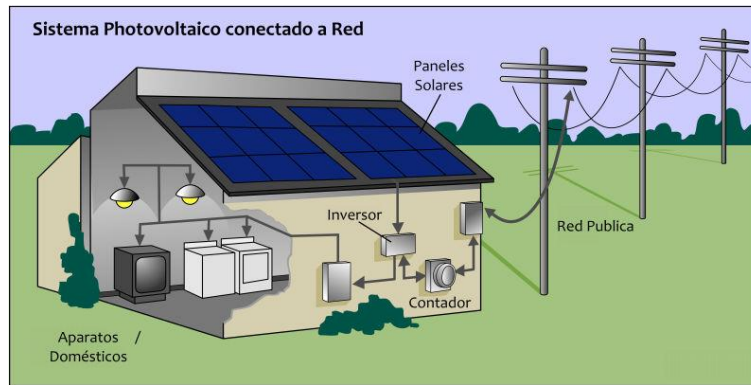


Figura 2.5. Esquema de instalación híbrida conectada a red para vivienda.

Para ofrecer una solución más económica se están utilizando prefabricados que reducen notablemente el tiempo de realización de la instalación del sistema y aumentan su fiabilidad. Una vez terminada la instalación del sistema fotovoltaico, es un componente más de la vivienda, aportando una fuente adicional de electricidad y un valor ecológico añadido.

Por sus características y la actual reglamentación en España, se prevé que sea la aplicación más extendida en los próximos años.

- ❖ Integración en edificios de cualquier tipo y para cualquier tipo de aplicación. En esta aplicación es prioritario el nivel de integración del elemento fotovoltaico en la estructura del edificio. Por integración fotovoltaica debemos entender la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por lo tanto son generadores de energía.
- ❖ Tanto para aplicaciones aisladas de la red eléctrica, como para las conectadas a ella es necesario cuidar la incorporación de los sistemas al entorno, rural o urbano. Pero es en las aplicaciones urbanas conectadas a red, en las que se unen exigencias urbanísticas por encima de las motivaciones medioambientales. La demanda de energía del sector terciario en Europa está creciendo de forma significativa, por lo que la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios, con aportaciones energéticas en las horas punta, contribuye a reducir la producción diurna de energía.

Las aplicaciones en edificios integradas más frecuentes son:

- ✓ Recubrimiento de fachadas.
- ✓ Muros cortina.
- ✓ Parasoles en fachada.
- ✓ Cubiertas planas acristaladas.
- ✓ Lucernarios en cubiertas.
- ✓ Lamas en ventanas.
- ✓ Tejas.

Para conseguir una mejor integración de los elementos del sistema fotovoltaico en los edificios es necesario tener en cuenta desde el inicio del diseño del edificio. De esta manera se conseguirá mejorar el aspecto exterior y el coste del edificio. Se podrá sustituir elementos convencionales por los elementos fotovoltaicos.

2.2. Elementos Sistema Fotovoltaico conectado a red.

2.2.1. Generador fotovoltaico.

El elemento principal del sistema fotovoltaico es el módulo fotovoltaico que es su generador fotovoltaico.

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, para obtener la tensión nominal de generación, forman la rama. Ramas conectadas en paralelo para poder obtener la potencia deseada, constituyen el generador.

Los módulos fotovoltaicos que forman el generador, están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar, en la imagen se muestra un esquema del soporte del módulo.

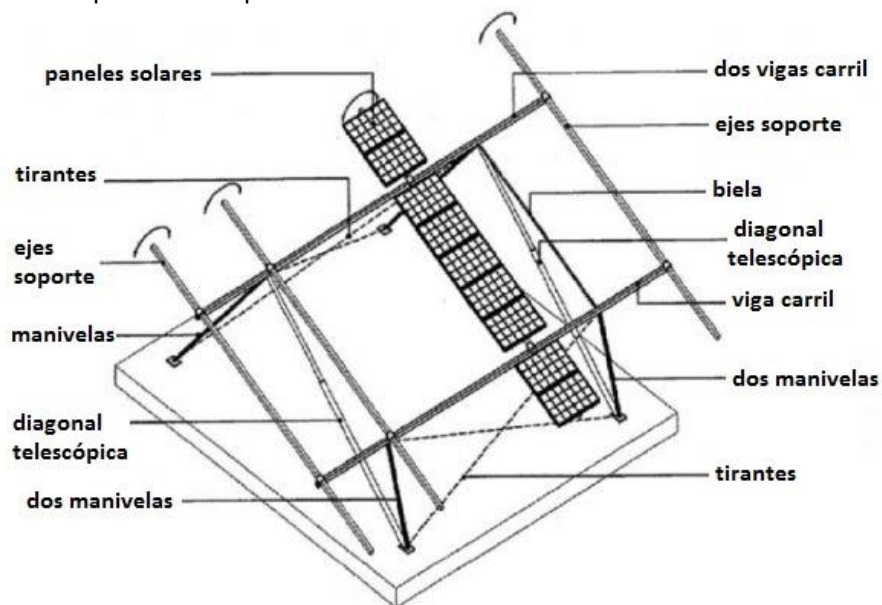


Figura 2.6. Muestra una perspectiva con las partes principales del seguidor: Sistema de paneles sobre ejes; ejes paralelos sobre dos vigas carril y estructura soporte articulada.

Los valores óptimos son:

- ❖ Valores mayores de 15 ° de inclinación, en condiciones normales.
- ❖ Valores mayores de 45° de inclinación en condiciones adversas.

La cantidad de energía producida por un generador fotovoltaico varía durante el año en función de dos condiciones significativas:

- ❖ La insolación de la localidad.
- ❖ La latitud.

Para cada aplicación, el generador tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- ❖ Carga eléctrica.

- ❖ Potencia de pico.
- ❖ Posibilidad de conexión a la red eléctrica.
- ❖ Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- ❖ Características arquitectónicas específicas del edificio.
- ❖ Características eléctricas específicas de la carga.

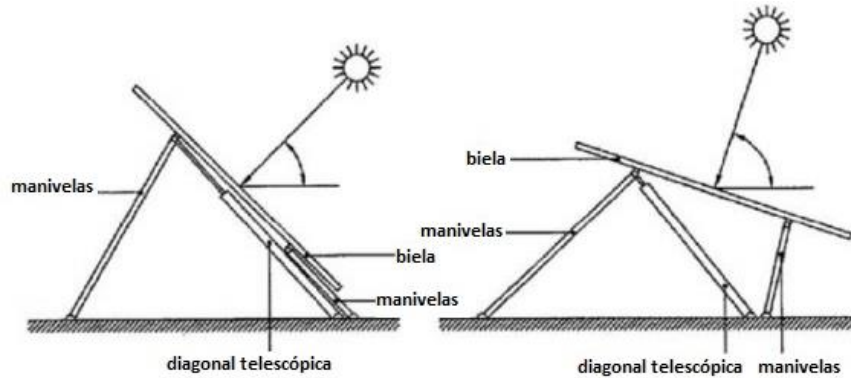


Figura 2.7. (Izquierda) Es una vista lateral del seguidor mostrando el sistema articulado de la estructura soporte en posición plegada, corresponde a máxima inclinación de ejes y por tanto a período de invierno.

Figura 2.8. (Derecha) Igual que la figura 2 pero para posición de verano, con estructura abierta y ejes menos inclinados.

Características principales de los generadores fotovoltaicos:

- ❖ Funcionan de forma más eficiente a bajas temperaturas.
- ❖ Requieren de un mantenimiento mínimo preventivo (suciedad).

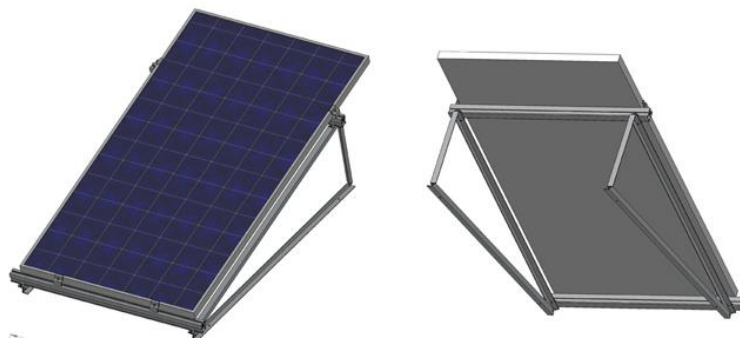


Figura 2.9. Sistema de montaje.

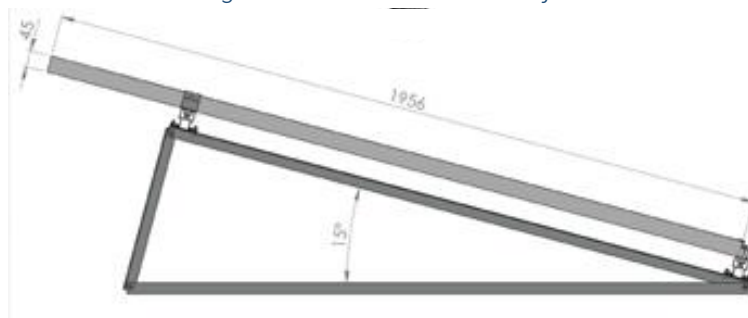


Figura 2.10. Sistema de montaje perfil.

2.2.2. Inversor.

Su función no es únicamente la de transformar la corriente continua, generada por los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna con el voltaje y la frecuencia para poder ser traspasada a la red eléctrica (220V, 50 Hz), sino que además hace trabajar al campo fotovoltaico en el Maximum Power Point (MPP). Además supervisan la red de las posibles averías y cortar la conexión en caso de avería.

El inversor se debe escoger en función del tamaño de la instalación. Se debe tener en cuenta la potencia instalada en el inversor, y no podemos optar por inversores incorporados a los propios módulos fotovoltaicos. Aunque hoy por hoy no resultan recomendados puesto que es necesario garantizar la calidad de la corriente alterna producida para conectarla a la red general, y por los posibles inconvenientes que se planteen en los trámites legales y administrativos para conseguir facturar una energía limpia vertida a la red.

Un inversor supone entre un 10 y un 15% del coste total de la instalación. Se espera según muestra la gráfica que el precio de un inversor no sea mayor a 0.3 Euro/WAC en el año 2010. La bajada de los precios en las últimas décadas se explica debido a las innovaciones técnicas y el aumento de la producción.

2.2.2.1. Tipos de Inversores.

2.2.2.1.1. Central.

Este tipo de inversores son utilizados para instalaciones con una potencia superior a 10kW. Se conectan en línea y a través de diodos en forma paralela. Para este caso el generador está conectado en el lado de corriente continua. Tienen la ventaja de ofrecer un alto rendimiento.

El inconveniente se plantea cuando existe un fallo en el inversor central, pues esto obliga a una detención de toda la instalación.



Figura 2.11. Inversor comercial de tipo Central APV 250K-TL/270K-TL/330K.

2.2.2.1.2. Strings.

Al igual que en el tipo inversor central, el campo también se divide en líneas, strings. De esta manera cada uno de los strings trabaja en el Maximum Power Point propio. Todo esto conlleva una mejora en las instalaciones puesto que se reducen pérdidas ocasionadas por strings y un cableado del generador en el lado de la corriente continua, la aparición de adaptaciones

defectuosas también se evita. Por lo tanto se consigue un aumento del rendimiento y una máxima viabilidad en la instalación.



Figura 2.12. Inversor de tipo String.

2.2.2.1.3. Multi-String.

Permite la conexión y el funcionamiento en MPP de varios strings por medio de un convertidor de corriente continua en un elemento de potencia común y ofrece de esta manera una solución compacta y económica. Funciona con un coeficiente de rendimiento óptimo y es utilizado en instalaciones fotovoltaicas de potencia media de 3 a 10 kW.

2.2.2.1.4. Inversor con Módulos Integrados.

Cada módulo dispone de un inversor propio. Con lo cual no se produce ningún tipo de pérdidas por adaptación. El rendimiento en estos casos es algo menor que en el caso de usar strings. Necesitan un cableado mayor en el lado de alterna, ya que cada módulo debe estar conectado a la red de 220V.

Es conveniente incluir detrás del inversor un transformador para el aislamiento galvánico, un interruptor automático de desconexión que actúe como vigilante de tensión, puesto que la tensión puede dispararse fuera de los límites.

2.2.3. Contador.

Para el caso de nuestro estudio, que se trata de una instalación eléctrica conectada a la red, deberemos tener en cuenta el siguiente detalle.

El generador fotovoltaico requiere de dos contadores ubicados entre el inversor y la red. Uno de ellos utilizado para cuantificar la energía que se genera e inyecta en la red, para su posterior remuneración y otro para cuantificar el pequeño consumo, mucho mayor de 2KWh/año, del inversor fotovoltaico en ausencia de radiación solar así como garantía para la compañía eléctrica de posibles consumos que el titular de la cuenta pudiera hacer.



Figura 2.13. Contador eléctrico bidireccional 5CTM.

2.2.4. Seguidor Solar.

Existe la posibilidad de instalar un sistema de seguimiento solar. En condiciones ideales el rendimiento del sistema fotovoltaico puede mejorar en aproximadamente un 40%, pero el mayor coste y espacio que supone, puede no compensar el aumento que se consigue.



Figura 2.14. Esquema de un seguidor solar soporte.

2.3. Sistemas Híbridos.

El progresivo ascenso de la factura de la electricidad y del diésel, ha puesto, de nuevo en la actualidad a los sistemas híbridos fotovoltaicos. Es decir, los caracterizados por tener una fuente adicional de generación de energía. Se define a los sistemas híbridos fotovoltaicos como aquellos sistemas multifuente. Como puede ser el caso de una planta fotovoltaica conectada en paralelo con otro generador tipo.

Su clasificación puede ser variada atendiendo a los siguientes criterios:

- ❖ Presencia de fuentes convencionales.

- ❖ Número de fuentes.
- ❖ Potencia instalada.
- ❖ Almacenamiento de energía o conexión a la red de distribución.

Las combinaciones más comunes son las siguientes:

- ❖ Fotovoltaica + Eólico + Diésel.
- ❖ Fotovoltaica + Diésel.
- ❖ Eólico + Diésel y Fotovoltaica + Baterías + Diésel.

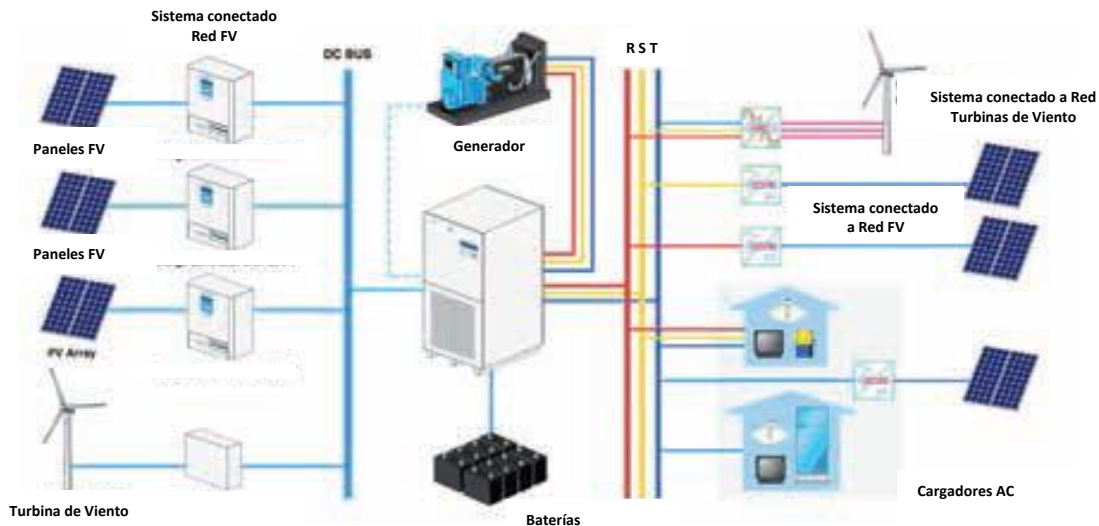


Figura 2.15. Esquema general de los sistemas híbridos fotovoltaicos.

2.3.1. Hibridación Fotovoltaica más Diésel.

Una de las clases de hibridaciones más en auge en estos días es la hibridación fotovoltaica más diésel, con y sin almacenamiento de energía. Es decir, la sustitución de un generador diésel como único generador por una hibridación fotovoltaica más generación diésel con dos fuentes generadoras.

Un esquema híbrido propuesto por Fronius, en donde se utiliza un gestor energético de circutor, el CDP-H. En esta configuración el bus de CA es proporcionado por el generador diésel, engañando al inversor de conexión a red. Dada la tecnología madura de los inversores de conexión a red es posible implementar sistemas con esta hibridación de potencia igual a la disponible actualmente por estos convertidores.

El elemento que controla o gestiona todo es el denominado CDP, controlador dinámico de potencia, aprovecha las capacidades técnicas de los inversores.

El funcionamiento es el siguiente:

- ❖ El CDP reduce la consigna de producción de los inversores.
- ❖ El generador reduce su aportación ajustado a la nueva condición
- ❖ El CDP realiza un ajuste fino incrementado progresivamente al aporte fotovoltaico respetando un mínimo régimen de grupo.

Si hay unidades de almacenamiento y hay gestión de la demanda se activan cargas para incrementar el aporte fotovoltaico.

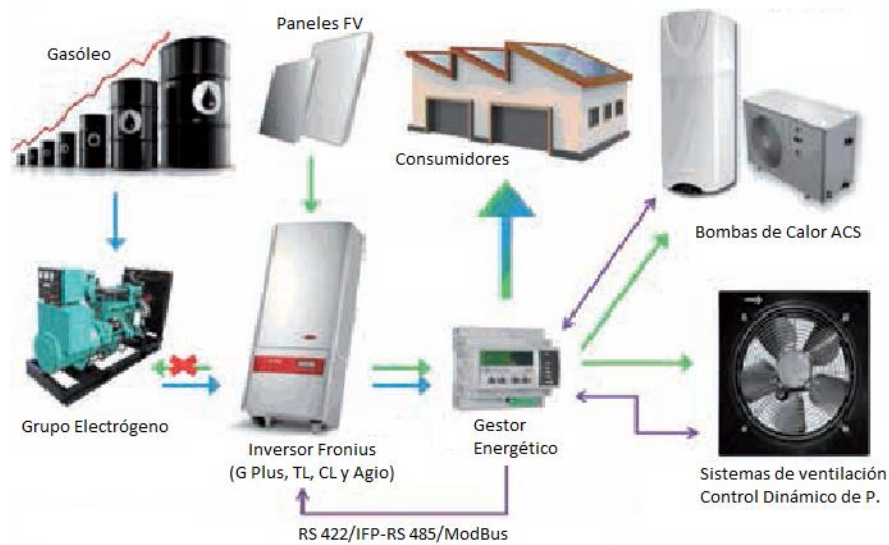


Figura 2.16. Hibridación fotovoltaica + Diésel con gestor energético, propuesto por Fronius utilizando un gestor energético CDP-H de Circutor

La reducción de la producción de energía de los inversores se realiza por medio de la variación de frecuencia y tensión de los propios inversores implementada su control en las Figuras.

Es decir, que variando la frecuencia o la tensión del bus de CA es posible operar fuera del punto de máxima potencia, que es el punto de operación óptimo.

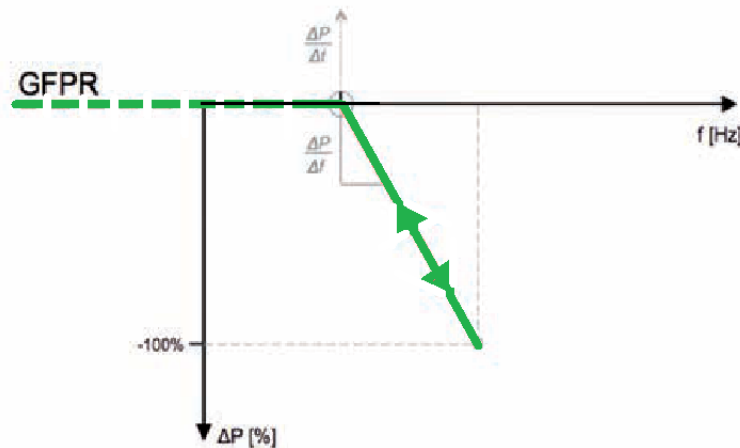


Figura 2.17. Control dinámico de potencia regulado por la frecuencia del bus de CA.

Cuando la carga aumenta el control dinámico envía una consigna a los inversores solares para cubrir el consumo de forma progresiva, minimizando el consumo del generador hasta alcanzar el mínimo establecido. Además, se suavizan las curvas de variación de aporte del grupo. Si el aporte solar no alcanza la nueva consigna se desconectan las cargas gestionables. Si hubiera algún sistema de acumulación ésta cubre parcialmente la demanda.

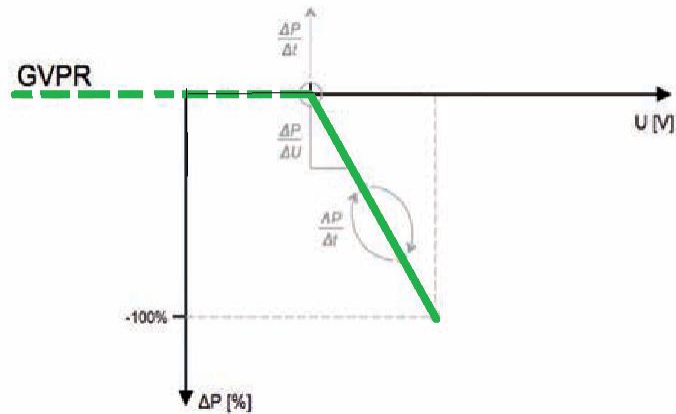


Figura 2.18. Control dinámico de potencia regulado por la tensión del bus de CA, en un inversor Fronius.

2.3.2. Hibridación con Acoplamiento en CC.

Esta configuración es la más tradicional y fue de las primeras que se implementó. En este sistema se distinguen los siguientes elementos:

- ❖ Generador fotovoltaico
- ❖ Cargador de baterías
- ❖ Banco de Baterías
- ❖ Inversor aislado y consumo.

El bus de CC es común para todos los elementos excepto para el consumo de CA. De esta forma, no hay un camino directo desde el generador fotovoltaico al consumo. Por lo que se debe pasar por un controlador de carga + inversor aislado. La tensión del bus de CC más utilizada ha sido de:

- ❖ 12V.
- ❖ 24V.
- ❖ 48 V.

En principio, habría que tener en cuenta las posibles pérdidas en grandes distancias. Esta es la razón por la que hasta hoy en día, estos sistemas se han implementado para potencias no muy grandes.

Sin embargo, todo esto se puede mejorar empleando tensiones más altas, tales como:

- ❖ 120V.
- ❖ 240V.
- ❖ 480V.
- ❖ 800 V.

Aunque no hay muchos fabricantes tantos de controladores de carga como de inversores aislados que tengan productos que soporten dichas tensiones. Actualmente algunos fabricantes están implementando una integración en un mismo equipo entre el cargador y el inversor aislado.



2.3.3. Hibridación con Acoplamiento en CA.

En esta configuración además del generador FV y consumo, común para ambas topologías aparecen dos nuevos elementos:

- ❖ El inversor de conexión a red
- ❖ El inversor bidireccional (Inversor/ cargador)

La característica principal de esta configuración es la utilización de un bus CA que estará generado por el inversor bidireccional (inversor /cargador), que actuará como fuente de tensión de CA. Esto capacitará al funcionamiento del inversor de conexión a red, operando como fuente de corriente.

Dada la madurez tecnológica de los inversores de conexión a red, empleados en las grandes plantas, esta configuración amplía las posibilidades de los sistemas híbridos. Si bien, en este caso el cuello de botella vendría impuesto por el inversor bidireccional. El bus de CC, común a las baterías es de 48 V.

En esta topología hay un flujo de energía directo desde la salida del inversor y el consumo en CA algo que no ocurría en la topología CC que tenía que pasar por el regulador de carga el inversor aislado.

En esta configuración el sistema funciona de la siguiente forma:

El generador FV se recarga de abastecer al consumo y, si hubiera excedente de cargar las baterías por medio del inversor bidireccional actuando como cargador de baterías. Cuando no hubiera insolación suficiente el abastecimiento de energía vendría desde el banco de baterías. En tal caso, el inversor bidireccional estaría operando como inversor autónomo.

Al no haber ningún sistema adicional de respaldo del sistema, éste habría que dimensionarlo adecuadamente si se quiere un abastecimiento continuo del consumo.

De esta forma, una variación de la configuración mostrada en la *Figura anterior*, en donde se añade un generador diésel como fuente de respaldo energético. Es decir, en el caso de que descarguen las baterías, el generador diésel se activará con el fin de descargarlas. Algo que ocurre muy diferente y frecuente al finalizar cada día, por ejemplo. En el resto del tiempo estaría desconectado. Las cargas son a frecuencia constante.

El retorno energético en ningún caso se hace desde el generador diésel y tampoco es posible operar, simultáneamente, el generador diésel y el inversor bidireccional actuando como inversor aislado.

Otro aspecto reseñable, en este tipo de configuración, es la posibilidad de realizar una regulación por frecuencia y tensión de CA del inversor de conexión a red. En este caso la regulación por frecuencia la suele hacer el inversor bidireccional mientras que la de la tensión por el generador diésel. Este tipo de regulación permite una carga más eficiente de las baterías evitando los micro ciclos, y tanto, un deterioro mayor de las baterías. Para este caso, el inversor de conexión a red nunca se desconecta, aunque estén cargadas las baterías.

Mencionar que durante el próximo año saldrá al mercado por varios fabricantes, diferentes integraciones en un mismo equipo del inversor en un mismo equipo del inversor bidireccional y baterías de ion litio. Este equipo se denominará inversor híbrido y se espera que pueda dar muchas más posibilidades a este tipo de configuración que se ha desarrollado.

2.3.3.1 Comparación Energética entre el Acoplamiento de CC y el de CA.

La comparación se puede efectuar teniendo en cuenta dos procesos entre el acoplamiento de CC y de AC desde el punto de vista energético:

- ❖ El de carga de las baterías
- ❖ Utilización de la energía directamente desde el generador FV hasta el banco de las baterías.

En todos los casos se compara el rendimiento obtenido. El rendimiento para cada caso dependerá del número de convertidores por los que tenga que pasar.

También habría que comparar los rendimientos que se obtienen al disponer de la energía que se utiliza directamente desde el generador FV hasta el consumo y desde las baterías. De acuerdo con los resultados obtenidos en una comparación entre ambas se puede concluir que cuando se utiliza la energía que proviene del generador FV es mejor hacerlo utilizando la configuración de CA. Mientras que si se utiliza la energía que proviene de las baterías algo que ocurre siempre por la noche y a veces por el día, se debería de utilizar la configuración de CC.

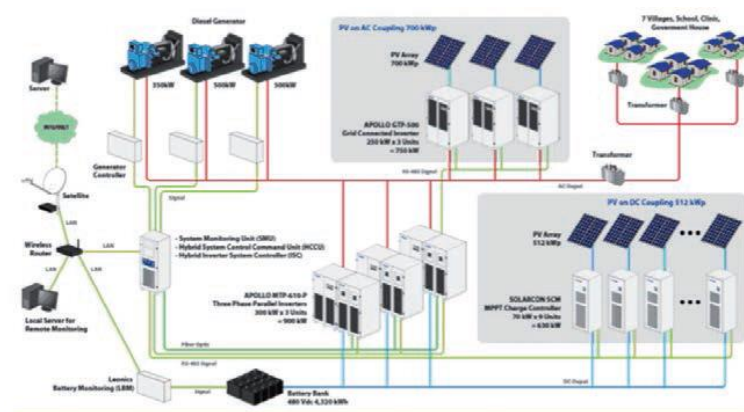


Figura 2.19. Implementación de la configuración mixta.



Figura 2.20. Hibridación empleando la configuración en CA, con respaldo de la red pública de energía, implementado por la empresa Enertres.

De todos estos datos se puede concluir que la situación que la situación ideal sería utilizar una configuración mixta entre el CC y CA, con el fin de poder utilizar más eficientemente toda la energía. La relación vendría dado por el perfil del consumo y de la insolación.

2.3.4. Hibridación con Acoplamiento Mixto.

Como resultado de la comparación hecha en el apartado anterior el esquema que se propone resultante de una hibridación mixta es el que parte del generador FV se acoplará en CC y la otra parte en CA.

2.3.5. Control.

En los apartados anteriores se han descrito las configuraciones de los sistemas híbridos y sus elementos. Sin embargo uno de los elementos más importantes es el gestor energético de cada uno de estos elementos. La gestión básicamente se puede realizar de dos formas:

- ❖ Utilizando el inversor bidireccional
- ❖ Utilizando el gestor energético externo.

Simular al presentado en la hibridación Fotovoltaica + diésel. Sin embargo, para estas configuraciones la utilización de un gestor externo es la opción más versátil ya que permitirá gestionar los consumos, entre otras cosas.

Desde el punto de vista de la comunicación se puede implementar de dos formas:

- ❖ Comunicación por línea, se puede aprovechar cualquiera de los protocolos RS485/Modbus o propietarios de cada fabricante de inversores, siguiendo diferentes guías. Como por ejemplo la IEEE P1547.E, IEC 81850-7-420 el UESP desarrollado por CIA.
- ❖ Comunicación por medio del bus de CA se puede realizar de la forma que se explicó en la hibridación de la FV + Diésel.



Figura 2.21. Hibridación propuesta por Fronius empleando la configuración en CA, con respaldo de un generador diésel, con gestor energético.



CAPÍTULO 3

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS FV AUTÓNOMOS

3.1. Introducción.

Básicamente un sistema híbrido está compuesto por los siguientes componentes:

- ❖ Paneles fotovoltaicos que transforman la energía lumínica del sol en eléctrica mediante las celdas solares.
- ❖ Para acumular la electricidad se utilizan baterías, para la utilización posterior en caso de periodos de escasez de energía solar.
- ❖ Un regulador de carga para proteger las baterías contra las sobrecargas y controlar las descargas.
- ❖ Un inversor opcional para transformar DC en AC y que necesitaremos para los aparatos posteriores que funcionan con corriente alterna.
- ❖ Finalmente con los aparatos a conectar o cargas del sistema. Las cargas pueden ser de dos tipos de AC o de DC, el consumo de dichas cargas es fundamental para el dimensionamiento del propio sistema.

Hay una multitud de aplicaciones de un sistema híbrido aislado. En la siguiente figura se muestra una clasificación de las principales aplicaciones.

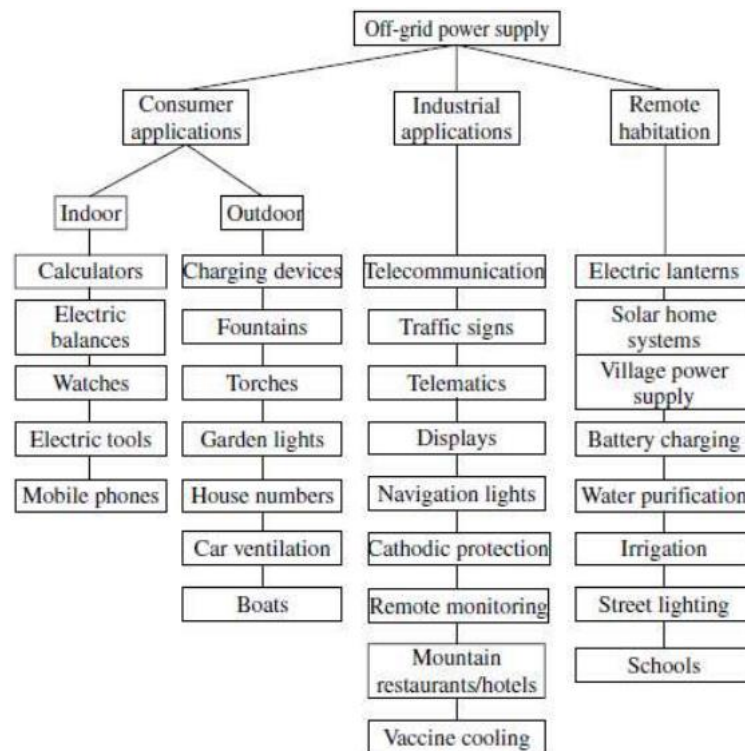


Figura 3.1. Clasificación de los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos

Fuente: libro "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering".

El sistema fotovoltaico conectado a red, no necesita baterías ya que tiene su propia red, con otro tipo de centrales. Como reserva para los momentos en los que no generen electricidad, por lo tanto, son más baratos que los conectados a red. Este sistema autónomo es especialmente apreciado en zonas aisladas, ya que llevar la red eléctrica a estos lugares o puntos cuesta varios miles de euros por kilómetro.

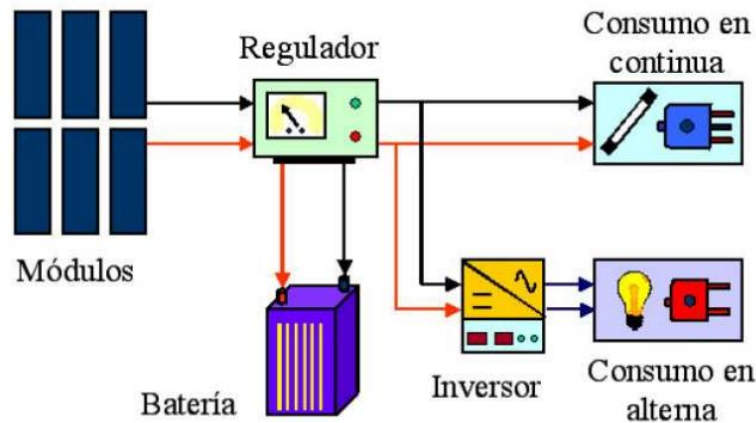


Figura 3.2. Esquema de instalación híbrida fotovoltaica autónoma.

El sistema fotovoltaico conectado a red, no necesita baterías ya que tiene su propia red, con otro tipo de centrales. Como reserva para los momentos en los que no generen electricidad, por lo tanto, son más baratos que los conectados a red. Este sistema autónomo es especialmente apreciado en zonas aisladas, ya que llevar la red eléctrica a estos lugares o puntos cuesta varios miles de euros por kilómetro.

Además de aplicaciones como generar la electricidad necesaria para alimentar el consumo doméstico de la casa aislada, el sistema autónomo tiene otras aplicaciones como sistema de telecomunicaciones, sistema de iluminación, estación meteorológica, etc.

Un punto a favor de estos sistemas es la fiabilidad y el bajo mantenimiento que es necesario. Para los paneles solares basta con limpiar su cara frontal con cierta frecuencia. Las baterías son el punto más delicado de este sistema, incluso haciéndose necesario, la sustitución de las mismas cuando la capacidad de estas, se reduzca notablemente.

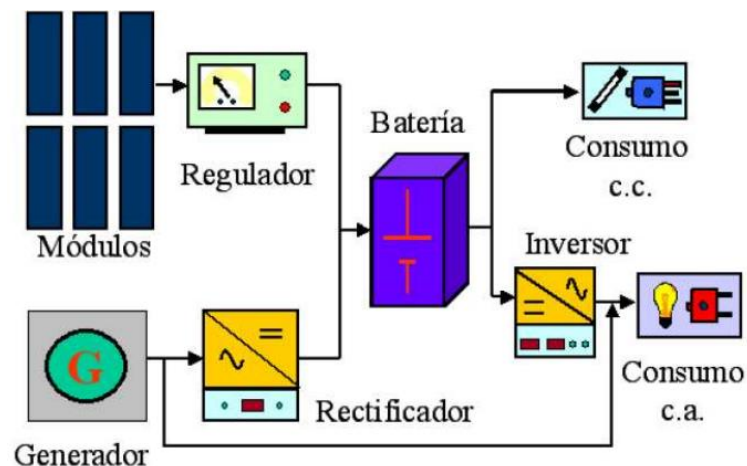


Figura 3.3. Esquema de instalación híbrida mixta fotovoltaica.

El sistema fotovoltaico autónomo puede hacerse uso de otro generador para completarlo. En tal caso, se nombrara como un sistema híbrido. Estos generadores pueden ser un sistema eólico o un generador que se use como combustible fósil. Aunque podría usarse como cualquier otro tipo de generador.

Para los sistemas domésticos como este, que es el objeto principal del proyecto, se puede dividir en más tipos, pero en este caso, se dividirá en solamente dos tipos.

Así pues, queda el sistema a su salida con entrega corriente continua y los que entregan corriente alterna, gracias al uso de un inversor que realiza la conversión alterna continua. Los primeros son utilizados para pequeñas instalaciones donde se cubre el consumo de pocas luminarias y quizás una radio, televisión; son los sistemas que se instalan en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, los segundos, permiten alimentar electrodomésticos con un mayor consumo.

A continuación se presenta el esquema de la instalación híbrida autónoma para el caso práctico elegido de una casa rural.

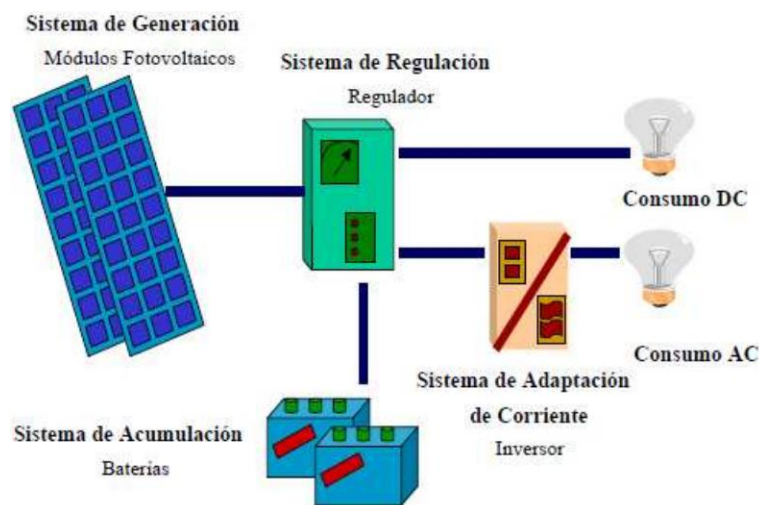


Figura 3.4. Esquema de instalación híbrida fotovoltaica autónoma para un vivienda rural.

Una vez presentado el esquema de la instalación se procederá a la presentación de cada uno de los componentes que los conforman. Para comenzar el desglose de los elementos, presentare el primero de ellos, el módulo fotovoltaico.

3.2. Módulo Fotovoltaico.

Los paneles o módulos fotovoltaicos, llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos están formados por un conjunto de celdas, células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos, energía solar fotovoltaica.

El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- ❖ Radiación de 1000 W/m^2
- ❖ Temperatura de célula de 25°C , no tiene temperatura ambiente.

En la imagen siguiente se muestra el corte transversal de un panel o módulo fotovoltaico.

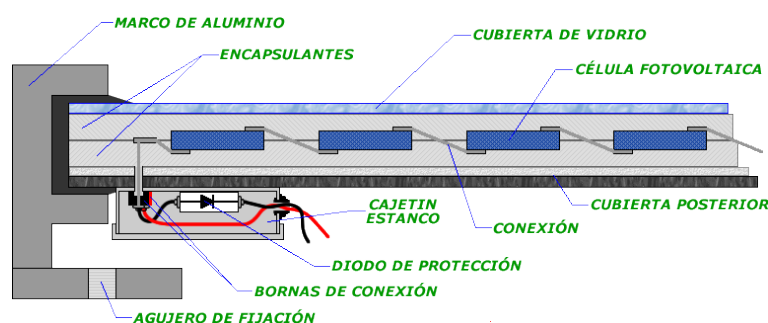


Figura 3.5. Esquema de un módulo fotovoltaico transversal para observar sus componentes.

3.2.1. Silicio Cristalino.

Los paneles fotovoltaicos se dividen en varios tipos dependiendo de qué tipo de estructura y material. El primero de ellos es un tipo de módulos clásicos, que llevan utilizándose y, normalmente, funcionando sin problemas en infinidad de aplicaciones. Se clasifican en función de sus células. Tienen dos tipos de células, monocristalinas y policristalinas, se obtienen a partir de lingotes de silicio purificados (grado solar). La diferencia entre ambas células se encuentra en el proceso posterior de cristalización. Ambos procesos requieren de un gran gasto de energía, pero por el que se obtiene el silicio policristalino resulta más barato.

En uno de los libros utilizados como fuente para este proyecto, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering” se presenta una tabla que, aunque no está actualizada, sirve para comparar los costes de fabricación de los módulos de silicio monocristalino y policristalino.

En el año 1990, se observa como el coste de fabricación de una célula de silicio policristalino era un 30% inferior al de una célula de silicio monocristalino. Si bien, esta reducción de coste no se veía reflejada en el precio del Watios pico, debido a la menor eficiencia de las células de silicio policristalino mostrada en la siguiente tabla dentro de este apartado.

DATOS	SX	MC
Pure Si	38	38
Ingot formation	115	35
Sawing	77	77
Wafer cost	230	150
Cell fabrication	80	80
Total components	310	230
Yield	0.95	0.9
Cell cost	326	256
Module assembling	75	75
Lamination	75	75
Module cost (Euro m ⁻²)	476	406
Efficiency	0.14	0.12
Module cost (Euro Wp ⁻¹)	3.40	3.38

Tabla 3.1. Comparación de los módulos monocristalinos y policristalinos.

No he encontrado desglosado por procesos, datos más actuales que los hallados en la *tabla 3.1* anterior.

Sin embargo, parece interesante adelantar el precio actual del Vativos pico de ambas tecnologías, obtenido del número de septiembre de 2009 de la revista PHOTON, concretamente de un estudio sobre la evolución los precios de los módulos de distintas tecnologías en el mercado alemán desde febrero a julio de 2009. Como se puede ver en la siguiente tabla, el precio de ambas tecnologías sigue muy parejo después de 19 años, siendo el del panel monocristalino ligeramente inferior. Es interesante también el dato de que el precio del Vativos pico es ahora ligeramente superior a la mitad del precio que había hace 19 años.

Tecnología	Precio (€/Wp)
Monocristalino	1,93
Policristalino	1,98

Tabla 3.2. Euros por Vativos pico para módulos de células cristalinas.

Respecto al aspecto de ambos paneles, a simple vista se pueden distinguir los módulos monocristalinos de los policristalinos, ver figura siguiente para comprobar las diferencias de aspecto.

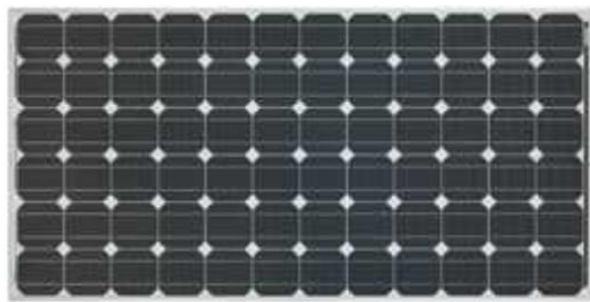


Figura 3.6. Módulo Monocristalino

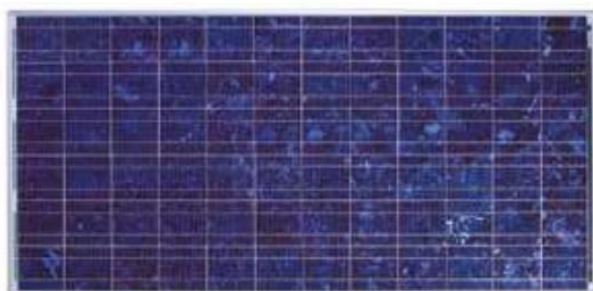


Figura 3.7. Módulo Policristalino

Cómo se puede observar, los monocristalinos tienen sus células con un aspecto uniforme, mientras que en los policristalinos se pueden ver los distintos cristales.

Respecto a la eficiencia energética de cada uno de los dos tipos, se ha realizado una comparativa mediante una tabla donde se muestran los resultados de dos módulos fabricados por BP solar, resultando el módulo monocristalino con 0,4% más de eficiencia que su semejante policristalino.



Fabricante	Modelo	Tecnología	Potencia(W)	Área (m2)	Rendimiento (%)
BP	BP 4175	monocristalino	175	1,25847	13,91%
BP	BP 3170	Policristalino	170	1,25847	13,51%

Tabla 3.3. Comparación eficiencias entre ambos módulos.

- ❖ Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada). Para obtener silicio monocristalino se utiliza el método Czochralski, mediante el cual se pueden obtener unos 30 kg por cada crecedor en 16 horas.
- ❖ Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas. El silicio policristalino se obtiene mediante un procedimiento de fusión en bloque, produce en cada colada entre 250 y 300 Kg.

Su efectividad es mayor, cuanto mayor son los cristales, pero también influye su peso, grosor y coste.

El rendimiento de las primeras placas puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

El coste de los módulos fotovoltaicos o paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

3.2.2. Capa Fina.

Para reducir los costes de la instalación de estos módulos, se intenta reducir la cantidad de semiconductor utilizado en dichos paneles o módulos, aprovechando sus propiedades más eficientes.

Una célula plana está compuesta únicamente por una capa antirreflectora, que tiene su máxima absorción cuando su espesor es de 700 μm . Pero, con un espesor de 300 μm se llega a un valor único de un 5% por debajo que se observa en la figura siguiente.

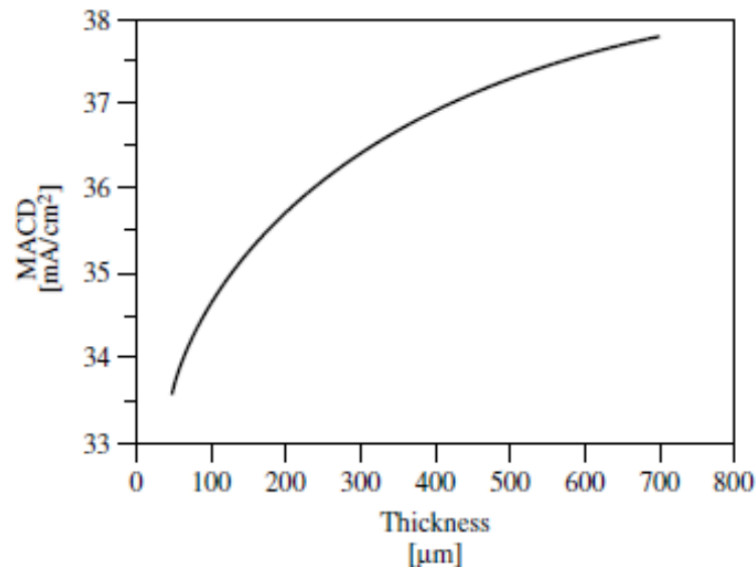


Figura 3.8. MACD Maximum achievable current density (Máxima densidad de corriente alcanzable) por una célula plana con capa antirreflectora en función de su espesor.

Según se muestra en la siguiente Figura, la reducción del espesor de las células de los módulos que hace también reducirse la velocidad de recombinación dentro de la célula solar, lo que es una ventaja, ya que el V_{oc} de la célula y el FF mejoran. Esta reducción es tal que, mientras una célula cristalina tradicional suele estar alrededor de las 400 μm , una célula de silicio amorfo es de 40 μm , y en el caso más extremo de todos ellos, como el telurio de cadmio se llega a 4 μm .

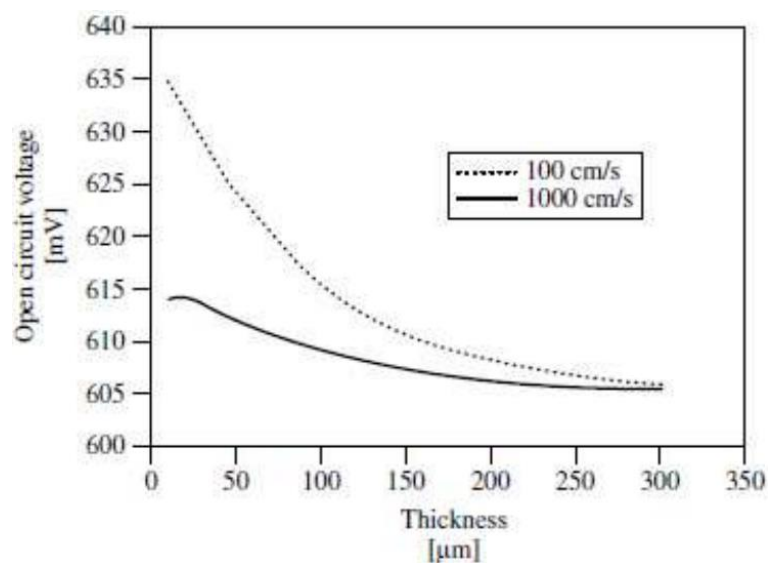


Figura 3.9. V_{oc} representada frente al espesor de célula para una corriente máxima generable por una célula plana con capa antirreflectora, en función del espesor de la célula, para grandes y pequeñas velocidades de recombinación.

Pero, no todas las características de los paneles mejoran cuando se intenta reducir el espesor, como ya se adelantó anteriormente, la corriente generada es mucho menor con espesores mayores, por lo tanto, es necesario diseñar la cara frontal de la célula de manera que sea capaz de capturar la mayor cantidad de luz posible, funcionando así como si la célula tuviese un espesor mayor.

Uno de los grandes problemas observados y encontrados al utilizar silicio amorfo para fabricar células de capa fina es la baja eficiencia de los módulos.

A continuación se expone una comparativa desglosada de la eficiencia de las tres de estas tecnologías. El silicio amorfo, como ya se comentó no tiene mucha eficiencia, un 5%. Sin embargo, las tecnologías CIS y TeCd, están sólo un 3% o 4% por debajo de la eficiencia de los módulos cristalinos.

Fabricante	Modelo	Tecnología	Potencia(W)	Área (m2)	Rendimiento (%)
Unisolar	UNISOL PV - 40	Silicio amorfo	40	0,790575	5,06%
Avancis	Powermax120	CIS	120	1,163456	10,31%
First solar	100270	Teluro de cadmio	72,5	0,72	10,07%

Tabla 3.4. Comparación eficiencias capa fina

Fuente: Fabricante de paneles fotovoltaicos grupounisolar, avancis, firstsolar

Hay varios tipos de módulos dentro de este segundo gran grupo de clasificación de los paneles fotovoltaicos, estos grupos se dividen en:

- ❖ Silicio amorfo (flexibles o rígidos). cuando el silicio no se ha cristalizado.
- ❖ Silicio microcristalino (en tándem con amorfo).
- ❖ CdTe (Teluro y cadmio)
- ❖ CIS (Cobre Indio Galio)
- ❖ CIGS (Cobre Indio Galio Selenio).

3.2.3. Concentración.

Para este último tipo de los módulos dentro de los tres grandes grupos destacables, en el cual, se basa en reducir la cantidad de material semiconductor utilizado. En contra posición a esto, en vez de reducir el espesor de las células de los paneles, se reduce su tamaño, sustituyendo esa falta de material semiconductor por un sistema óptico que concentre la luz en una célula más pequeña, como muestra, en la siguiente figura se expone el esquema de un tipo FLATCON.



Figura 3.10. Tecnología del módulo FLATCON.

Fuente: Página oficial de concentrix-solar

Para el nivel de concentración conseguido, la célula podrá ser hasta mil veces más pequeña que otra que no necesitare el sistema óptico. De este modo, se pueden utilizar células más eficientes, como por ejemplo, las que se utilizan en los satélites, con una eficiencia similar al 40%, que al ensamblarse en un módulo pueden dar una eficiencia de módulo del 27%.

El mayor problema de esta tecnología por el contrario, es que al utilizar un sistema óptico, sólo aprovecha la componente directa de la radiación, por lo que requiere de un sistema de seguimiento, en función de la aceptación angular de dicho sistema. Debido a esto, su aplicación más común es en grandes centrales, ya que estos sistemas necesitan de cierto mantenimiento cualificado.



Figura 3.11. Seguidores con módulos fotovoltaicos FLATCON.

Fuente: Página oficial de concentrix-solar

❖ Comparativa de precios:

En el número de Enero de 2014, de la revista PHOTON online, realiza un estudio de la evolución los precios de los módulos de distintas tecnologías.

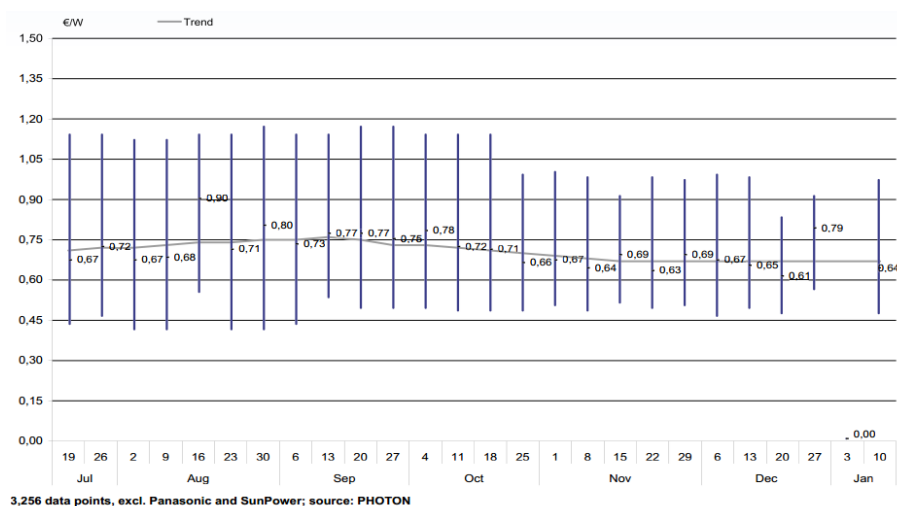


Figura 3.12. Evolución del precio € por Vatios pico para módulos monocristalinos

Fuente: Página oficial de concentrix-solar

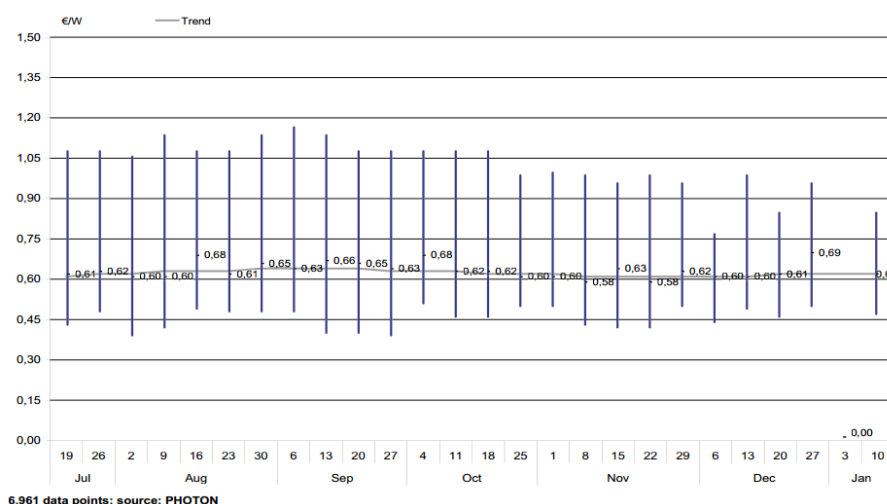


Figura 3.13. Evolución del precio Euro por Vatios pico para módulos policristalinos

Fuente: Página oficial de concentrix-solar

Sintetizando los resultados de ambas gráficas, para el 10 de Enero del año actual 2014, resulta la siguiente tabla:

Tecnología	Precio(€/Wp)
Monocristalino	0,64
Policristalino	0,61

Tabla 3.5. € por Vatios pico para distintas tecnologías del módulo.

Además, de una tendencia descendente ligeramente observada en ambas gráficas de los precios, se observa que, con estos precios, no se justifica la existencia de los módulos de silicio policristalino, ya que son más caros y menos eficientes que los de silicio monocristalino.

3.3. El Acumulador o Batería.

El principio de funcionamiento de un acumulador o batería, está basado esencialmente en un proceso químico reversible llamado reducción-oxidación, a la que también se denomina como redox, un proceso en el cual uno de los componentes se oxida, pierde electrones, y el otro se reduce, en contra posición gana electrones. Es un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que meramente cambian su estado de oxidación y, que a su vez pueden retornar a su estado original en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de las baterías, el cierre del circuito externo, durante el proceso de descarga, y la aplicación de una corriente, igualmente externa, durante la carga del acumulador.

Resulta que en los procesos de este tipo, son bastante comunes en las relaciones entre los elementos químicos y la electricidad durante el proceso denominado electrólisis. Los investigadores del siglo XIX declararon tras numerosos esfuerzos a observar, esclareciendo este fenómeno, con el nombre de polarización.

Los acumuladores o baterías desempeñan tres funciones principales en los sistemas fotovoltaicos autónomos:

- ❖ Autonomía: satisfacen los requerimientos y las necesidades de consumo en cualquier momento incluidos periodos de nula, por la noche, o muy baja, ejemplo en días nublados, insolación.



- ❖ Suministro de picos de intensidad: pueden ser necesarias corrientes mayores a la propia corriente nominal que puede suministrar el generador fotovoltaico, especialmente para arrancar motores y otros equipos con picos de arranque dentro del sistema híbrido autónomo.
- ❖ Estabilización del voltaje: evitando fluctuaciones dañinas para el correcto funcionamiento de los demás equipos de consumo del sistema híbrido.

Hay muchos tipos de baterías que podrían ser utilizadas en sistemas fotovoltaicos autónomos:

- ❖ Plomo ácido
- ❖ Níquel-cadmio
- ❖ bromuro de zinc
- ❖ cloruro de zinc
- ❖ magnesio-litio
- ❖ sodio-azufre
- ❖ Níquel-hidrógeno
- ❖ Baterías de flujo redox.

Dentro de todos estos grupos, las más utilizadas para los sistemas híbridos autónomos de una casa rural son las baterías de plomo ácido.

Una buena batería, para un sistema fotovoltaico autónomo, tiene que cumplir los siguientes requisitos desglosados a continuación:

- ❖ Larga vida útil.
- ❖ Muy poca auto descarga dentro de su vida útil.
- ❖ Soportar largos períodos en baja carga sin estropearse
- ❖ Alta eficiencia de carga, este tipo de baterías devuelven casi en su totalidad la energía que se le aplica.
- ❖ Bajo coste en mantenimiento y coste de instalación.

Las baterías de plomo ácido contemplan varios tipos, a continuación se muestra el listado de los tres principales grupos:

- ❖ De arranque: Son utilizadas en los coches. Pero este tipo de baterías tienen un defecto y este es, que no tienen una alta eficiencia de carga.
- ❖ Acumuladores estacionarios: Son los apropiados para un sistema fotovoltaico autónomo. Dentro de las baterías estacionarias también existen distintos desarrollos que mejoran ciertas características de este tipo de acumuladores.
- ❖ Baterías de tracción: Este último tipo se utiliza en carretillas elevadoras. Por contraposición es necesario un alto mantenimiento, rellenar constantemente de agua.

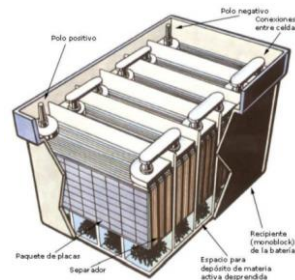


Figura 3.14. Esquema de un acumulador o batería de plomo ácido.

Fuente: Master oficial de "Ingeniería de los sistemas autónomos. La acumulación en los sistemas autónomos", Nieves Vela

La elección del acumulador elegido para la instalación práctica de este proyecto será la siguiente. El acumulador de marca EnerSys con modelo EcoSafe OPzS.



Figura 3.15. Muestra del acumulador elegido para la instalación.

Fuente: Página Oficial de BureaBaterias

Las características del acumulador elegido se desglosan a continuación:

- ❖ Elementos de 2V para instalaciones fotovoltaicas aisladas.
- ❖ Tecnología Plomo Ácido.
- ❖ Capacidades desde 289 Ah hasta 4578 Ah a un régimen de 120 horas (C120)
- ❖ Acumuladores disponibles tanto con el electrolito añadido o bien cargados en seco
- ❖ Hasta 5000 ciclos con una profundidad de descarga del 25%
- ❖ Excelente seguridad operativa que incluye: Conexiones totalmente aisladas, tapón antideflagrante para cada celda, protección de las bornas para el transporte

Esta batería se encuentra dentro de la gama de Elementos de 2V EcoSafe TS de EnerSys. Los cuales ofrecen una solución de alto rendimiento y larga duración para instalaciones fotovoltaicas y aplicaciones de energías renovables como es en este caso.

Su mantenimiento es reducido debido a la utilización de una reserva adicional de electrolito, lo cual significa que las celdas sólo tienen que ser rellenadas una vez al año. Esto ayuda a reducir los costes de mantenimiento y hace que sean una solución ideal para muchas ubicaciones aisladas o que no precisen supervisión.

Las placas positivas tubulares se utilizan normalmente en los acumuladores para las aplicaciones más exigentes. En el producto elegido de la gama TS ha sido optimizado para ofrecer una duración en el ciclo máximo y además una mayor capacidad.

Modelos	Capacidad Ah 1,80 V/e 25°C			Dimensiones (mm)	Peso (Kg)
	10 Hr	100 Hr	120 Hr		
TLS-3	170	240	289	103 x 206 x 289	16.3
TLS-5	260	361	367	124 x 206 x 389	22.0
TVS-4	365	452	460	124 x 206 x 505	26.6
TVS-5	425	519	528	124 x 206 x 505	29.4
TVS-6	520	627	637	145 x 206 x 505	34.6
TVS-7	595	731	743	166 x 206 x 505	39.6
TYS-6	660	900	914	145 x 206 x 687	48.1
TYS-7	770	1101	1118	191 x 210 x 687	61.3
TYS-8	880	1200	1219	191 x 210 x 687	65.1
TYS-9	1000	1394	1416	233 x 210 x 687	75.8
TYS-10	1100	1500	1524	233 x 210 x 687	79.6
TYS-12	1320	1799	1828	275 x 210 x 687	94.3
TZS-12	1620	2300	2388	275 x 210 x 829	117.8
TZS-13	1755	2600	2624	299 x 210 x 813	146.0
TZS-16	2160	3000	3050	299x x210 x 813	160.6
TZS-20	2700	3753	3817	487 x 210 x 813	199.5
TZS-22	2970	4144	4211	487 x 210 x 813	209.1
TZS-24	3240	4505	4578	576 x 210 x 813	235.9

Tabla 3.6. Listado de Modelos de Acumuladores EcoSafe OPzS con la relación de sus capacidades, Dimensiones y Peso.

Fuente: Página Oficial de BureaBaterias

3.4. El Regulador.

Dentro del sistema híbrido de la casa rural, el regulador es uno de los componentes más baratos dentro de un sistema fotovoltaico autónomo pero, de su elección dependen dos factores muy importantes, el primero de ellos es la fiabilidad a largo plazo del sistema híbrido y segundo y último los costes de mantenimiento.

El regulador es el encargado dentro de sus principales tareas dentro del sistema, de proteger la batería de descargas profundas y sobrecargas, asegurando que la batería sea ciclada de manera que no se reduzca su propia capacidad durante su vida útil.

El regulador que utilizare para el proyecto depende del tipo de batería, sin embargo, cómo ya se informó en el apartado anterior, casi todas las baterías utilizadas son de plomo ácido.



Figura 3.16. Regulador de carga Modelo Steca.

Fuente: Página Oficial de Fabricante de reguladores stecasolar



Para este proyecto de sistema híbrido aislado se elegirá el tipo de regulador de modelo Steca PR con PR 1010, PR 1515, PR 2020, PR 3030 dentro de la alta gama que el fabricante nos puede presentar para cubrir las necesidades del sistema híbrido.

El modelo de Steca PR 10-30 es un producto de una serie de reguladores de carga pertenecientes a la marca Steca.

Según la información aportada por el fabricante las últimas tecnologías de carga de la marca, junto con un estado Steca-AtonIC de determinación de la carga que se ha mejorado de manera significativa una vez más, como resultado óptimo mantenimiento de la batería y el control de la potencia de módulo de hasta 900 Vatios pico que se puede conectar a la misma.

El regulador consta de un gran display que informa al usuario sobre todos los modos de operación con la ayuda de símbolos para facilitar el manejo y la información del sistema híbrido. El estado de carga se representa visualmente en la forma de una pantalla de tanque. Datos tales como tensión, corriente y estado de carga del sistema, también se pueden mostrar números de forma digital en la pantalla. Además, el regulador dispone de un contador de energía que puede ser restablecido por el usuario en caso de necesidad.

Características del producto descritas por el fabricante:

- ❖ Regulador híbrido
- ❖ Determinación del estado de carga con Steca AtonIC (SOC)
- ❖ Detección automática de voltaje
- ❖ Control PWM de la señal sinusoidal
- ❖ Tecnología de carga de varias etapas
- ❖ Desconexión de carga en función de SOC
- ❖ Reconexión automática
- ❖ La compensación de temperatura
- ❖ Toma de tierra positiva o negativa en un terminal común
- ❖ Registrador de datos integrado
- ❖ Función de luz nocturna y luz de la mañana
- ❖ Auto test integrado
- ❖ Carga mensual de mantenimiento
- ❖ Funciones de protección electrónica
- ❖ Protección del cargo excesivo
- ❖ Protección contra descarga
- ❖ Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- ❖ Fusible electrónico automático
- ❖ Protección contra cortocircuito de la carga y el módulo
- ❖ Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- ❖ Protección contra circuito abierto sin batería
- ❖ Protección contra corriente inversa por la noche
- ❖ Sobretemperatura y sobrecarga
- ❖ Desconexión por sobretensión en la batería

Se puede combinar el regulador con unos sensores de temperatura externos. Estos sensores son de los siguientes tipos que se usan para el control de la temperatura de la batería:

- ❖ Steca PA TS10
- ❖ Steca PA TSIP10
- ❖ Steca PA TS-S.



Todos los reguladores de carga solar Steca tienen un sensor de temperatura integrado que hace que sean capaces de ajustar la estrategia de carga para adaptarse a las condiciones actuales de temperatura. Los sensores de temperatura externos sólo son necesarios cuando la batería se debe instalar en una habitación diferente al regulador de carga solar.

El PA TS10 Steca Steca PA y TSIP10 se suministran con un enchufe para la conexión con el controlador y el anillo de carga ojales solares para conexión con el tornillo de la batería.

Los sensores de temperatura externos son adecuados para su uso con Steca PR 10-30, Steca Solarix MPPT, Steca PR 2020 IP, Steca Tarom 4545 y Steca Tarom MPPT 6000 reguladores de carga solar.



Figura 3.17. Sensor de temperatura externo para Regulador de carga Modelo Steca.

Fuente: Página Oficial de Fabricante de reguladores stecasolar

Las características del producto sensor de temperatura son las siguientes:

- ❖ Bajo peso
- ❖ Muy larga vida útil
- ❖ Instalación sencilla
- ❖ Libre de mantenimiento
- ❖ Bajo consumo propio
- ❖ Mejor fiabilidad
- ❖ Certificados
- ❖ Conforme a los estándares europeos (CE)
- ❖ Conformes a RoHS

3.5. El Inversor AC/DC.

Este elemento del sistema híbrido tiene como misión principal convertir la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos, o bien, almacenada en la batería en corriente alterna.

Existe una gran diversidad de tipos, pero a la hora del diseño de una instalación se tiene que tener en cuenta las siguientes características:

- ❖ una buena eficiencia
- ❖ adaptación a la potencia de nuestra instalación
- ❖ adaptación al rango de tensiones.

Los inversores pueden ser de dos tipos:

- ❖ trifásicos
- ❖ monofásicos (este tipo es el que se utiliza en sistemas domésticos).

Actualmente, debido al desarrollo de los microprocesadores y de las comunicaciones móviles, se puede monitorizar de manera remota los parámetros de generación eléctrica de la instalación fotovoltaica autónoma híbrida.



Figura 3.18. Inversores de distintos tamaños de Ingecon

Fuente: Página Oficial de Fabricante de inversores Ingeteam

3.6. Métodos de Dimensionamiento de Sistemas Híbridos

En estos últimos años, han proliferado y desarrollado una gran multitud de software informáticos capaces de realizar los cálculos necesarios para el dimensionado de sistemas Fotovoltaicos en este caso que nos ocupa, el dimensionamiento de un sistema híbrido.

Estos programas o aplicaciones realizan cálculos que permiten tener en cuenta muchas situaciones y variables que, para un ingeniero que se encargue del diseño del propio proyecto del sistema, sería muy difícil de considerar, ya que requieren de mucha dedicación y mucho tiempo.

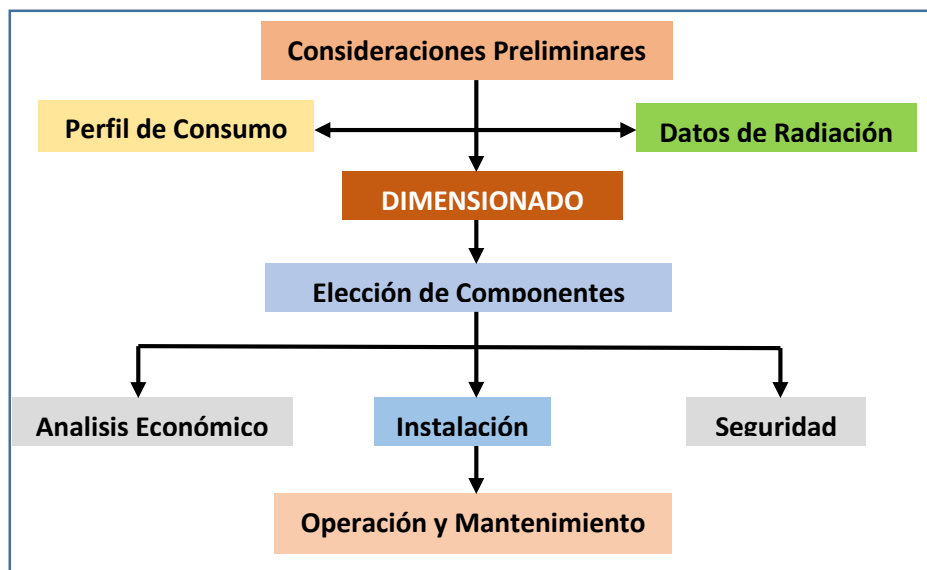


Figura 3.19. Esquema del diseño y dimensionado de un sistema fotovoltaico

Estos métodos de dimensionado tienen un objetivo en común, diseñar el sistema con la mayor fiabilidad y el menor coste posible dentro una variabilidad de opciones amplia que pueda contemplar el ingeniero de diseño del mismo; modificando los valores de tamaño del generador fotovoltaico y del acumulador o baterías.

Sin embargo, en software y aplicaciones de diseño de sistemas de comunicaciones predominara en los mismos, la fiabilidad del sistema por encima del coste de la instalación, por



el contrario, algunas aplicaciones domesticas requieren de menor fiabilidad frente al mencionado coste de la instalación híbrida.

3.7. Normativa y Legislación

Toda construcción de un proyecto para cualquier instalación tiene una normativa y una legislación asociada y, los sistemas fotovoltaicos autónomos no son una excepción. En principio, los proyectos tendrán que cumplir la legislación estatal y, de la comunidad autónoma en la que se vaya a instalar.

Una serie de documentos, con carácter de ley, que se utilizarán para la redacción de este proyecto son, las instrucciones técnicas para instalaciones fotovoltaicas. En estas instrucciones se especifican los requisitos mínimos que tiene que cumplir la instalación a través de normas y leyes.

Unos documentos muy importantes, a los que hacen referencia estas instrucciones técnicas son las instrucciones técnicas de baja tensión. Por otro lado, hay instrucciones técnicas y normativas, que pueden ayudar al ingeniero encargado de realizar el proyecto, a realizar este, si son sólo normas o, son de obligado cumplimiento si se mencionan en alguna ley.

Una norma interesante para la realización de este proyecto es la *UNE 157001* que tiene por título *Criterios generales para la elaboración de proyectos según la empresa AENOR (asociación española de normalización y certificación)*, en la que se explica cómo debe realizarse un proyecto de una instalación fotovoltaica como es el caso que nos ocupa.

Por otro lado, una instrucción realizada de forma conjunta por el *IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)* y el *CIEMAT* titulada *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*, muestra con cierto detalle los pasos y las condiciones a seguir para la realización de un sistema fotovoltaico autónomo.

Toda esta documentación no es sólo especificaciones de requisitos, sino una gran ayuda para afrontar la realización de la instalación fotovoltaica autónoma híbrida.

La normativa a nivel internacional es múltiple con los sistemas híbridos. Aquí se presentan algunas de estas normas:

- ❖ UNE-EN 62124 Equipos Fotovoltaicos autónomos. Verificación de diseño
- ❖ UNE-EN 62093: 2006 Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y medidas del rendimiento.
- ❖ UNE-EN 62509:2012 Controladores de carga de baterías para instalaciones fotovoltaicos. Comportamiento y rendimiento.
- ❖ Conjunto de partes de la IEC/TS 62257



CAPÍTULO 4

ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN



4.1. Introducción.

4.1.1. Localización.

El sistema híbrido se instalará en el tejado de 30 m² plano. No se encuentran zonas que impidan que los rayos de sol incidan de forma problemática sobre los paneles fotovoltaicos ya que la localización de la casa es en una llanura donde no se encuentran edificaciones grandes alrededor o algún tipo de árbol de gran tamaño que perjudique la incidencia de los rayos ya mencionados. En la localidad de Los Palacios y Villafranca, Sevilla, en una casa de uso rural en el campo alejada de cualquier núcleo urbano y a una altura sobre el nivel del mar no superior a 20m.

4.1.2. Consumo de los elementos y cargas de la vivienda rural.

Dentro de este proyecto se ha realizado un estudio del consumo de cada elemento y aparato que tendrá que abastecer la propia instalación.

Los equipos eléctricos que se encuentran en la vivienda rural son los siguientes, en esta tabla se muestran también sus consumos desglosados correspondientes:

Aparato/ Elemento Eléctrico	Potencia (W)
Puntos de luz (x16)	20
Frigorífico	200
Televisión	120
Equipo música	50
Ordenador (x2)	230
Lavadora	600

Tabla 4.1. Listado de los aparatos que se utilizarán como carga del sistema de la instalación.

El perfil de consumo en julio, junio y agosto el consumo es ligeramente superior al resto del año y, queda reflejado en la siguiente tabla:

Aparato/ Elemento Eléctrico	Meses Junio, Julio y Agosto		Resto de los meses del año	
	Horas/día	Potencia (W)	Horas/día	Potencia (W)
Punto de luz 1	8	160	8	160
Punto de luz 2	8	100	7	100
Punto de luz 3	5	160	4	120
Punto de luz 4	6	120	4	100
Punto de luz 5	6	120	6	100
Punto de luz 6	5	100	5	80
Punto de luz 7	8	100	6	80
Punto de luz 8	6	100	5	60
Punto de luz 9	6	80	5	70
Punto de luz 10	5	120	5	100
Punto de luz 11	5	160	4	160
Punto de luz 12	6	120	5	120
Punto de luz 13	5	120	4	100
Punto de luz 14	8	80	8	60



Punto de luz 15	8	100	6	60
Punto de luz 16	5	120	4	80
Ordenador 1	2	460	2	460
Ordenador 2	5	1150	4	920
Frigorífico	24	4800	2	400
Televisión	6	720	2	240
Equipo de música	2	100	3	150
Lavadora	3	1800	2	1200

Tabla 4.2. Listado de los aparatos desglosado según los Vatios horas.

Este consumo se corresponde con los días en los que la vivienda está utilizada a lo largo del año fiscal, que son 4 días a la semana, durante todo el año. El consumo medio diario queda como sigue:

Consumo Diario Medio Mensual (Wh)	Meses Junio, Julio y Agosto	Resto de los meses del año
	2880	1920

Tabla 4.3. Resultado de los consumos medios diarios los Vatios horas.



CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

5.1. Introducción.

En los apartados anteriores de este proyecto se especificaron las condiciones preliminares y el perfil de consumo del sistema híbrido. Por lo tanto, según el esquema de la figura siguiente que también se introdujo anteriormente, sólo queda obtener los índices de radiación antes de comenzar con el objetivo principal de este capítulo que es el dimensionamiento.

A continuación la figura representativa de las fases de un proyecto al igual que se mostró en la *Figura 3.19*.

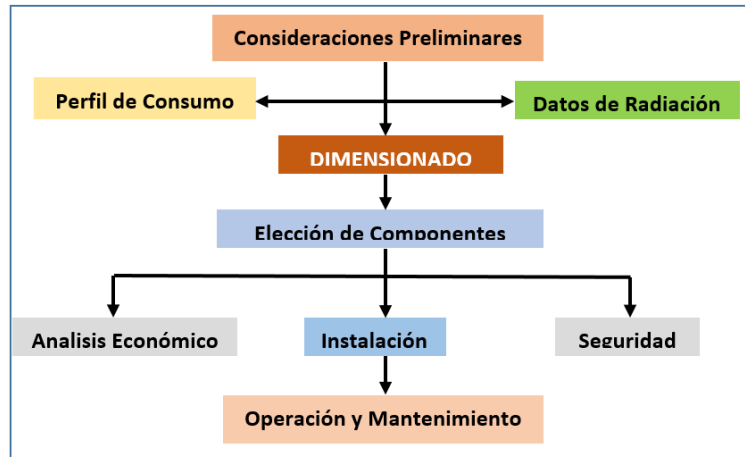


Figura 5.1. Esquema del diseño y dimensionado de un sistema fotovoltaico.

Para el dimensionado se utilizará la herramienta informática PVSYST. La cual permite realizar cálculos avanzados de forma fácil. Liberando al ingeniero proyectista de mucho trabajo.

5.2. Radiación solar en la localización geográfica de la instalación.

El programa PVSYST dispone de una alta gama de los datos de radiación de un gran número de ciudades, sin embargo, Los Palacios y Villafranca cerca de Sevilla no viene registrado en ninguno de estos.

En contra posición se utilizará la opción, desde alguna base de datos externa, ya sea de forma manual o automática estos datos. La agencia andaluza de su energía en su página de la Agencia Energética Andaluza ofrece datos de radiación para varios municipios andaluces entre ellos el elegido para este proyecto.

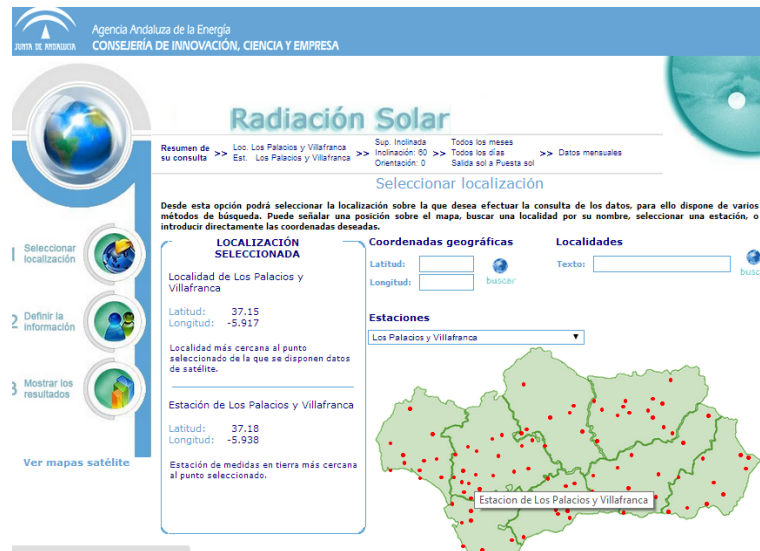


Figura 5.2. Página principal base de datos de radiación, Agencia Andaluza de la Energía.

La base de datos andaluza permite obtener, además de los datos de radiación global sobre superficie horizontal, la difusa, directa, la radiación con un ángulo determinado.

Se pueden dar los datos en valores horarios, diarios o mensuales. Además entrega valores de temperatura, humedad, como se muestra en la siguiente imagen. Para estos cálculos se elegirá la opción de media mensual en kWh/m²/mes.

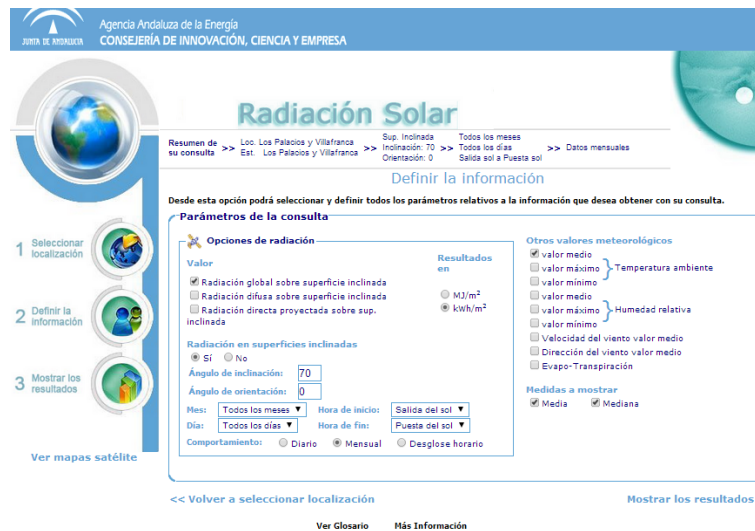


Figura 5.3. Datos en base de datos de radiación Agencia Andaluza de la Energía.

El paso siguiente será introducir estos datos de la Agencia Andaluza de la Energía, en la base de datos del programa PVSyst, para ello, se elige la opción *Base de Datos* donde se encuentran todas las opciones para ampliar la base de datos del propio programa.



Figura 5.4. Página principal PVSYST.

Dentro de este menú del PVSyst se elegirá la opción *Lugares Geográficos* para incluir los datos de la localidad de Los Palacios y Villafranca.

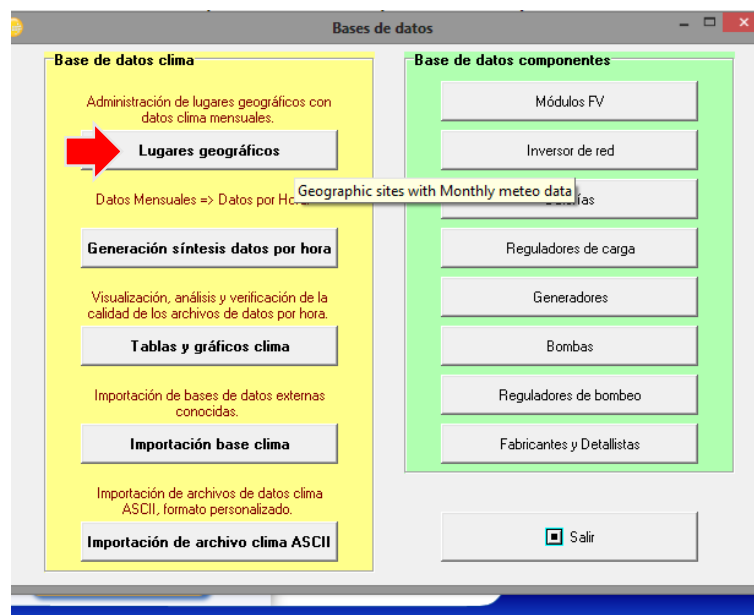


Figura 5.5. Página principal opción Base de Datos.

Una vez dentro de esta parte de la aplicación, se introducirán, por un lado, las coordenadas de Los Palacios; en primer lugar.

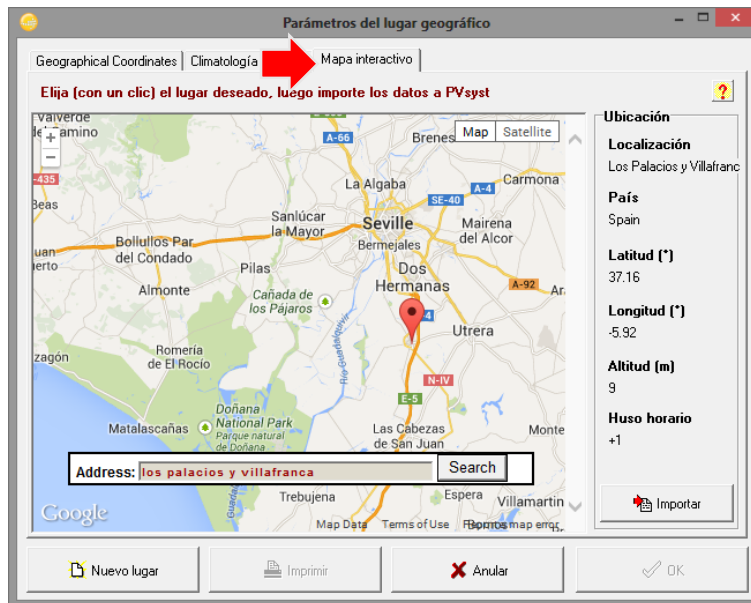


Figura 5.6. Introducción de las coordenadas en PVsyst

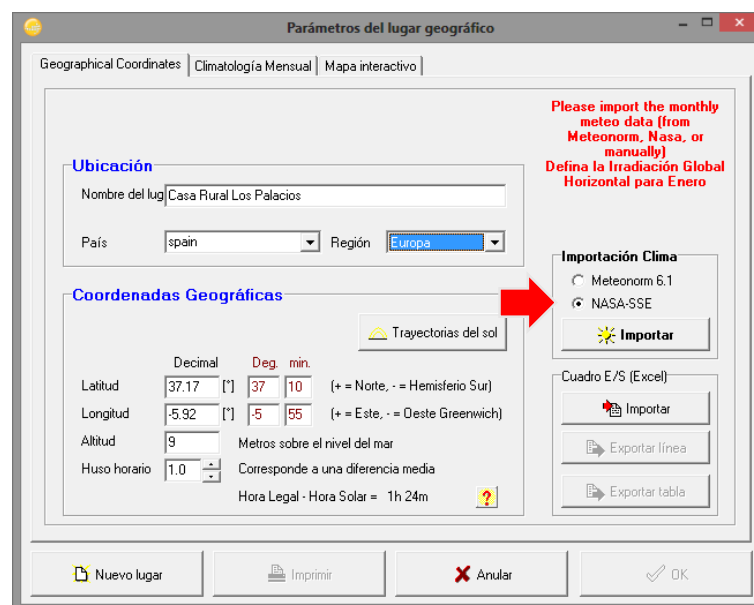
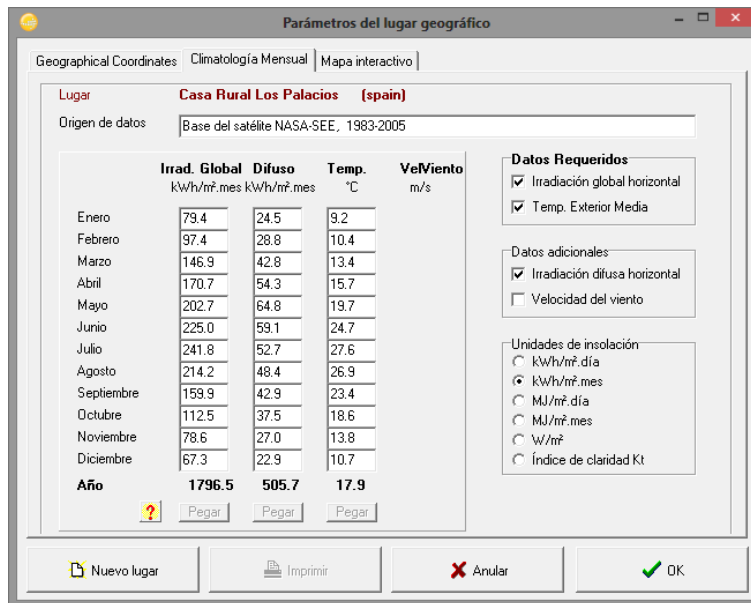


Figura 5.7. Introducción de las coordenadas en PVsyst y pulsar NASA-SSE.

A continuación se introducirán los datos climatológicos. La primera opción es coger los datos proporcionados por la NASA de forma automática.



Parámetros del lugar geográfico

Geographical Coordinates | Climatología Mensual | Mapa interactivo

Lugar: Casa Rural Los Palacios (Spain)

Origen de datos: Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	79.4	24.5	9.2	
Febrero	97.4	28.8	10.4	
Marzo	146.9	42.8	13.4	
Abril	170.7	54.3	15.7	
Mayo	202.7	64.8	19.7	
Junio	225.0	59.1	24.7	
Julio	241.8	52.7	27.6	
Agosto	214.2	48.4	26.9	
Septiembre	159.9	42.9	23.4	
Octubre	112.5	37.5	18.6	
Noviembre	78.6	27.0	13.8	
Diciembre	67.3	22.9	10.7	
Año	1796.5	505.7	17.9	

Datos Requeridos:
☒ Irradiación global horizontal
☒ Temp. Exterior Media

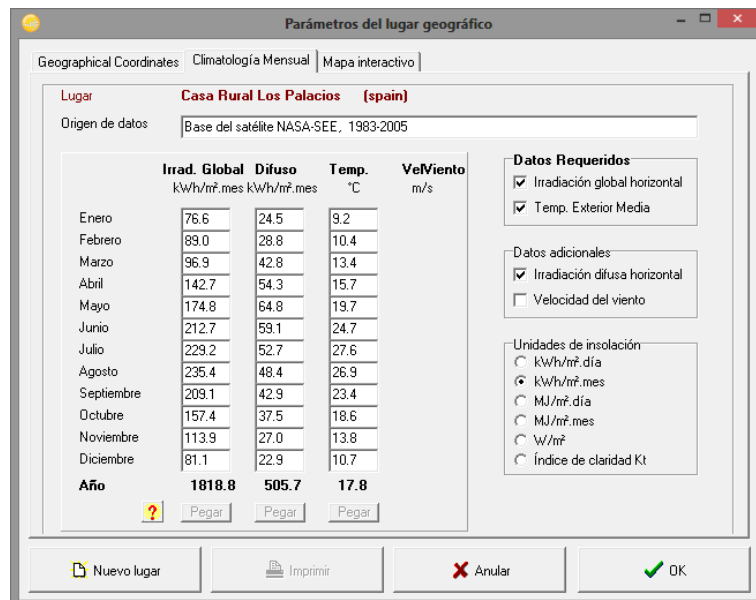
Datos adicionales:
☒ Irradiación difusa horizontal
☐ Velocidad del viento

Unidades de insolación:
☐ kWh/m².día
☒ kWh/m².mes
☐ MJ/m².día
☐ MJ/m².mes
☐ W/m²
☐ Índice de claridad Kt

Botones: Nuevo lugar, Imprimir, Anular, OK

Figura 5.8. Datos meteorológicos de la NASA en PVSystem.

Sin embargo y según los pasos previos relatados anteriores, se utilizarán los datos de la Agencia Andaluza de la Energía que, aunque son datos parecidos a los de la NASA, los datos de la agencia son tomados con instrumentos dentro de estaciones meteorológicas terrestres. Los datos de la NASA están aproximados desde el satélite, por lo que se suponen más cercanos a la realidad los de la Agencia. Por último decir que los datos introducidos corresponden a una inclinación del Gmd de 0 grados.



Parámetros del lugar geográfico

Geographical Coordinates | Climatología Mensual | Mapa interactivo

Lugar: Casa Rural Los Palacios (Spain)

Origen de datos: Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	76.6	24.5	9.2	
Febrero	89.0	28.8	10.4	
Marzo	96.9	42.8	13.4	
Abril	142.7	54.3	15.7	
Mayo	174.8	64.8	19.7	
Junio	212.7	59.1	24.7	
Julio	229.2	52.7	27.6	
Agosto	235.4	48.4	26.9	
Septiembre	209.1	42.9	23.4	
Octubre	157.4	37.5	18.6	
Noviembre	113.9	27.0	13.8	
Diciembre	81.1	22.9	10.7	
Año	1818.8	505.7	17.8	

Datos Requeridos:
☒ Irradiación global horizontal
☒ Temp. Exterior Media

Datos adicionales:
☒ Irradiación difusa horizontal
☐ Velocidad del viento

Unidades de insolación:
☐ kWh/m².día
☒ kWh/m².mes
☐ MJ/m².día
☐ MJ/m².mes
☐ W/m²
☐ Índice de claridad Kt

Botones: Nuevo lugar, Imprimir, Anular, OK

Figura 5.9. Datos meteorológicos de la Agencia Andaluza de la Energía.

5.3. Diseño Previo del Sistema por medio del PVSyst.

Una vez se han realizado todos los pasos previos se realizará el diseño previo. Dentro del programa muestra la opción en la página principal como Pre- Dimensionamiento, y dentro del mismo se desplegarán unas opciones en la parte derecha de la pantalla principal para realizar el estudio previo para el sistema fotovoltaico autónomo objeto de este proyecto.

Para la parte izquierda al marcar la opción derecha principal se despliegan y se muestran en la pantalla las opciones siguientes:

- ❖ Conectado a red.
- ❖ Aislado.
- ❖ Bombeo.

La opción elegida es Aislado. La imagen de a continuación muestra como aparece en el propio programa.



Figura 5.10. Pantalla principal del PVSyst.

Una vez en diseño preliminar se pasa a elegir la localización, que en este caso será la que se ha introducido anteriormente, con sus datos meteorológicos correspondientes a los datos grabados dentro del registro creado anteriormente como *Casa Rural Los Palacios*.

El siguiente paso es elegir la inclinación más eficiente para el sistema híbrido de la Casa Rural, para ello se realizaron cálculos previos en unas tablas Excell que se mostrarán a continuación. Utilizando los datos de radiación mensuales y los consumos del sistema previamente moldeados según las características del consumidor, la casa y sus aparatos eléctricos. Estos cálculos no lo realiza el programa PVSyst, sólo presenta un dato que muestra el porcentaje de pérdida respecto al máximo de radiación, sin tener en cuenta consumos.

Se sabe todo esto previamente y por lo tanto se utilizará el método del mes más desfavorecido para determinar la inclinación óptima de los paneles. Usando la aplicación de la Agencia Andaluza de la Energía, se obtienen los valores mensuales de radiación para las distintas inclinaciones, en la siguiente tabla se muestran los datos relativos a todo:



Radiación en Los Palacios y Villafranca Provincia Sevilla (kWh/m ² /mes)										
Mes	Gmd (0)	Gmd (10)	Gmd (20)	Gmd (30)	Gmd (40)	Gmd (50)	Gmd (60)	Gmd (70)	Gmd (80)	Gmd (90)
Enero	78,1	94,3	107	119	127	131,4	132,5	124	118,6	110
Febrero	97,6	113	126	136	143	145,2	144,3	137	129	118
Marzo	141,1	155	165	172	174	172,1	165,4	156	141,6	125
Abril	167,7	177	181	181	177	168,2	156,4	147	127,3	105
Mayo	211,9	216	215	209	198	182,8	163,7	141	116	89,9
Junio	226,3	227	223	213	198	180,4	157,5	133	105,6	78,5
Julio	236,5	239	236	227	213	194,8	171,6	144	115,8	86,7
Agosto	212,3	222	225	223	215	202,9	185,2	160	134,8	108
Septiembre	158,2	171	180	185	185	180,2	171,2	156	139,5	120
Octubre	113	127	139	147	151	152,1	149,3	144	133,9	121
Noviembre	81,8	96,8	110	120	127	131,1	131,9	125	119,3	111
Diciembre	65,6	77,8	88,5	97	104	107,2	108,7	104	100	93,6
valor medio	149,7	163	173	177	175	170,2	157	142	123,3	109

Tabla 5.1. Datos de radiación para mes y ángulo de inclinación.

Teniendo en cuenta los datos anteriores de la tabla y los datos especificados en el capítulo anterior dentro del apartado de consumo, se obtiene la siguiente tabla. Con los datos anteriores y el consumo especificado en el capítulo anterior, se obtiene la siguiente tabla.

RELACIÓN entre Radiación (kWh/m ² /mes)/ Consumo (kWh medio diario)										
Mes	Gmd (0)	Gmd (10)	Gmd (20)	Gmd (30)	Gmd (40)	Gmd (50)	Gmd (60)	Gmd (70)	Gmd (80)	Gmd (90)
Enero	40,7	49,1	55,9	61,7	65,9	68,4	69,0	64,3	61,8	57,4
Febrero	50,8	58,9	65,7	70,8	74,2	75,6	75,2	71,4	67,2	61,4
Marzo	73,5	80,9	86,1	89,5	90,6	89,6	86,1	81,4	73,8	64,9
Abril	87,3	91,9	94,3	94,3	92,0	87,6	81,5	76,6	66,3	54,7
Mayo	110,4	112,5	112,1	108,9	103,0	95,2	85,3	73,3	60,4	46,8
Junio	74,4	74,5	73,3	70,0	65,2	59,3	51,8	43,7	34,7	25,8
Julio	77,8	78,6	77,6	74,7	70,1	64,1	56,4	47,3	38,1	28,5
Agosto	69,8	72,9	74,1	73,3	70,8	66,7	60,9	52,8	44,3	35,4
Septiembre	82,4	89,1	94,0	96,2	96,3	93,9	89,2	81,3	72,7	62,2
Octubre	58,9	66,3	72,3	76,5	78,8	79,2	77,8	74,8	69,7	63,0
Noviembre	42,6	50,4	57,0	62,5	66,1	68,3	68,7	64,9	62,1	57,6
Diciembre	34,2	40,5	46,1	50,6	54,1	55,8	56,6	54,2	52,1	48,8
valor medio	77,9	85,0	90,1	91,9	91,3	88,6	81,7	74,1	64,2	56,7

Tabla 5.2. Resultado de los Cálculo de la inclinación óptima.

Resulta que el peor mes es diciembre y la inclinación óptima de los paneles es 60 grados. Una vez obtenido el cálculo de la inclinación se llevará al programa de la siguiente forma como muestra la siguiente imagen.

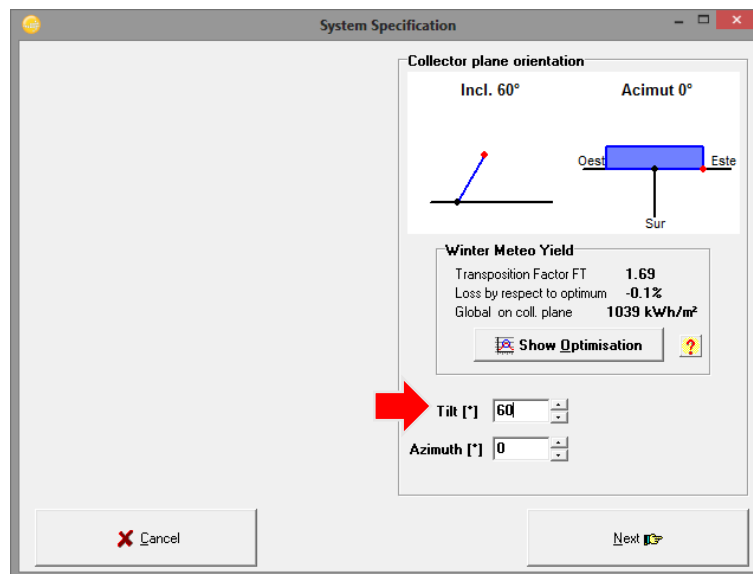


Figura 5.11. Especificación de la inclinación de los paneles.

A continuación de introducir la inclinación o *Tilt*, se introducen los consumos del sistema dependiendo de las cargas que se contengan en la casa rural. Será distinto para los meses de verano, junio, julio y agosto al resto de meses del año, por lo que se define por meses dentro del propio programa. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del mes de enero como mes referente de los pertenecientes a los del resto del año.

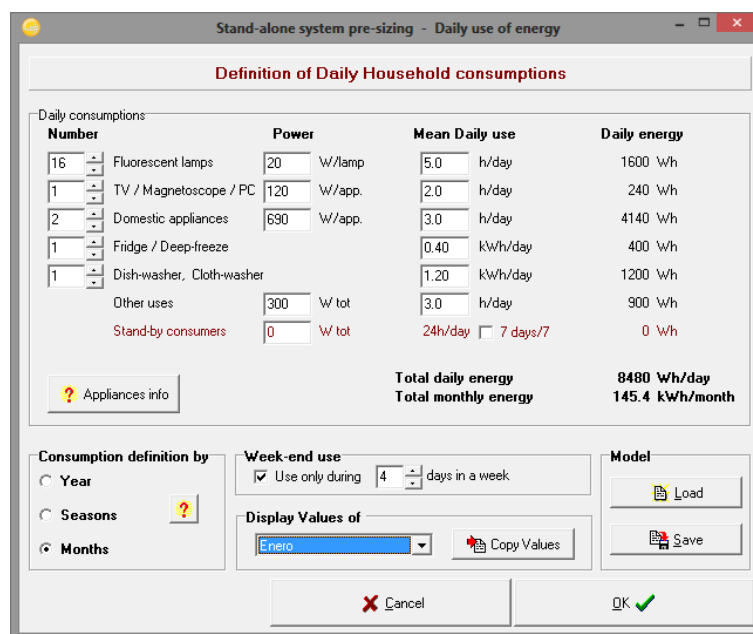
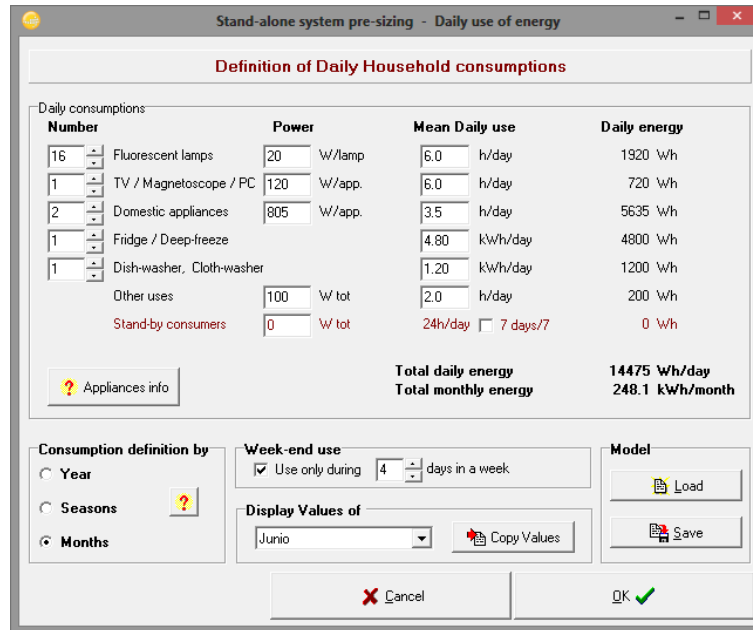


Figura 5.12. Perfil de consumo mensual, excepto junio, julio y agosto.

A continuación se muestra el ejemplo de cómo se rellenan los datos en el programa para los meses de verano diferenciando por su consumo frente a los del resto del año natural, el consumo de junio, julio y agosto.



Definition of Daily Household consumptions

Number	Appliance	Power	Mean Daily use	Daily energy
16	Fluorescent lamps	20 W/lamp	6.0 h/day	1920 Wh
1	TV / Magnetoscope / PC	120 W/app.	6.0 h/day	720 Wh
2	Domestic appliances	805 W/app.	3.5 h/day	5635 Wh
1	Fridge / Deep-freeze		4.80 kWh/day	4800 Wh
1	Dish-washer, Cloth-washer		1.20 kWh/day	1200 Wh
	Other uses	100 W tot	2.0 h/day	200 Wh
	Stand-by consumers	0 W tot	24h/day <input type="checkbox"/> 7 days/7	0 Wh
Total daily energy				14475 Wh/day
Total monthly energy				248.1 kWh/month

Consumption definition by: ☐ Year ☐ Seasons ☒ Months

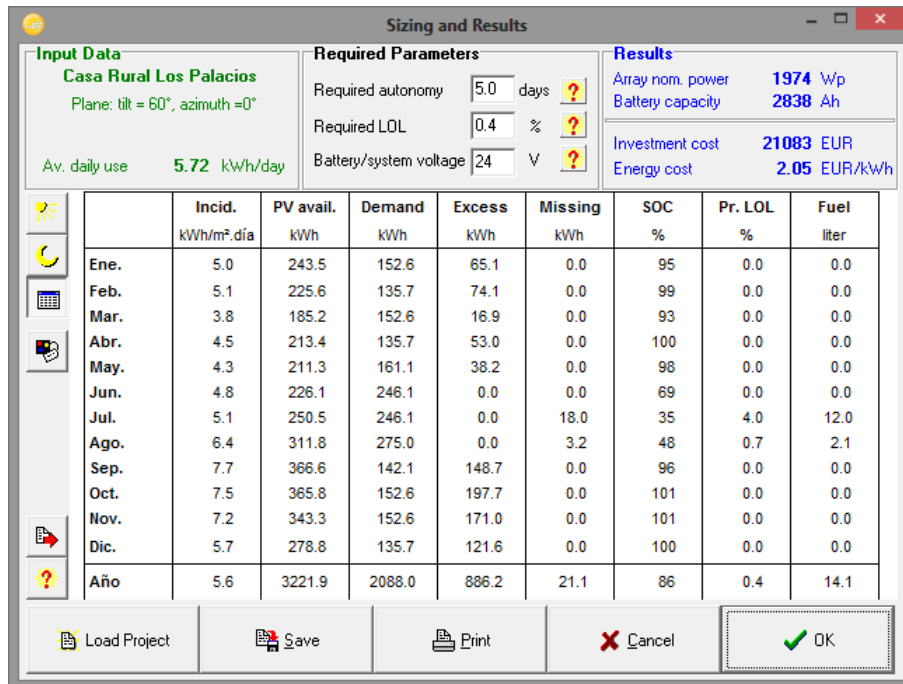
Week-end use: ☒ Use only during 4 days in a week

Display Values of: Junio

Figura 5.13. Perfil de consumo mensual para los meses de verano junio, julio y agosto.

El último paso una vez introducidos todos los datos de los meses del año, de este diseño previo es definir la autonomía del sistema híbrido que por normativa técnica, la autonomía mínima será de 5 días.

La probabilidad de pérdida de carga en el sistema doméstico, se establece en un 5% y, la tensión del sistema que se fija en 24 voltios (la típica de un gran número de paneles e inversores de baja potencia).



Input Data
Casa Rural Los Palacios
Plane: tilt = 60°, azimuth = 0°
Av. daily use 5.72 kWh/day

Required Parameters
Required autonomy 5.0 days
Required LOL 0.4 %
Battery/system voltage 24 V

Results
Array nom. power 1974 Wp
Battery capacity 2838 Ah
Investment cost 21083 EUR
Energy cost 2.05 EUR/kWh

	Incid. kWh/m².día	PV avail. kWh	Demand kWh	Excess kWh	Missing kWh	SOC %	Pr. LOL %	Fuel liter
Ene.	5.0	243.5	152.6	65.1	0.0	95	0.0	0.0
Feb.	5.1	225.6	135.7	74.1	0.0	99	0.0	0.0
Mar.	3.8	185.2	152.6	16.9	0.0	93	0.0	0.0
Abr.	4.5	213.4	135.7	53.0	0.0	100	0.0	0.0
May.	4.3	211.3	161.1	38.2	0.0	98	0.0	0.0
Jun.	4.8	226.1	246.1	0.0	0.0	69	0.0	0.0
Jul.	5.1	250.5	246.1	0.0	18.0	35	4.0	12.0
Ago.	6.4	311.8	275.0	0.0	3.2	48	0.7	2.1
Sep.	7.7	366.6	142.1	148.7	0.0	96	0.0	0.0
Oct.	7.5	365.8	152.6	197.7	0.0	101	0.0	0.0
Nov.	7.2	343.3	152.6	171.0	0.0	101	0.0	0.0
Dic.	5.7	278.8	135.7	121.6	0.0	100	0.0	0.0
Año	5.6	3221.9	2088.0	886.2	21.1	86	0.4	14.1

Figura 5.14. Resultados anuales del diseño previo.

PVSYST tiene un problema con la probabilidad de pérdida de carga y, es que se calcula de manera anual, por lo tanto, si un mes tiene una relación radiación/consumo menor, su probabilidad de pérdida de carga será mayor. Por lo tanto, se ha jugado con este parámetro hasta que la probabilidad de pérdida de carga sea inferior al 5% para todos los meses. Los resultados más importantes mostrados en la pantalla anterior son la potencia de generador necesaria, que para el caso de este sistema híbrido es 1974 Vatios pico W_p y la capacidad del sistema de acumulación de 2838 amperios hora Ah. Para cumplir estos requisitos, se buscarán componentes dentro de los catálogos que se han conseguido, con precios.

Buscando la máxima economía y fiabilidad del sistema. El programa presenta además, el coste aproximado que tendrá la instalación, 21083 €. Puede parecer una potencia de generador muy pequeña, para el consumo diario que se tiene, pero hay que tener en cuenta que la instalación sólo se utiliza cuatro días a la semana. Este pequeño tamaño de generador se salva con un tamaño de acumulador grande, que satisface todo el consumo requerido y que acumula en una semana lo que se va a gastar en los cuatro días y, da una autonomía al sistema de 5 días hábiles.

5.4. Elección de las Componentes.

Para las elecciones de las componentes del sistema, se han conseguido varios catálogos de componentes de varios sistemas que incluyen precios. Sin embargo, para el cálculo de costes, principalmente, se ha consultado un catálogo de un proveedor elegido, que es JHRoerden.

5.4.1. Elección del módulo fotovoltaico.

ELECTRICAL DATA @ STC	REC215AE	REC220AE	REC225AE	REC230AE	REC235AE	REC240AE
Peak Power Watts - P_{MAX} (Wp)	215	220	225	230	235	240
Watt Class Tolerance - P_{TOL} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Watt Class Tolerance - P_{TOL} (%)	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2
Maximum Power Voltage - V_{MPP} (V)	28.2	28.5	28.7	29.0	29.3	29.6
Maximum Power Current - I_{MPP} (A)	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	36.3	36.5	36.7	36.9	37.1	37.4
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	8.3	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7
Module Efficiency (%)	13.0	13.3	13.6	13.9	14.2	14.5
Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000 W/m ² , Cell temperature 25 °C)						

TEMPERATURE RATINGS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MPP}	-0.46%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.06%/°C


CERTIFICATION	MECHANICAL DATA
	Dimensions 1665 x 991 x 43 mm Area 1.65 m ² Weight 19 kg

Figura 5.15. Captura de la especificación del módulo elegido.

Dentro del catálogo observado, en este catálogo se busca el módulo de tecnología cristalina, la que se considera más fiable, que tenga un coste euro Vatios pico menor.

El módulo elegido corresponde a la marca REC, concretamente el modelo elegido es REC220AE. Con este módulo se consigue un precio de 2,88 €/W_p.

Para conseguir los vatios pico de nuestro sistema híbrido que son los 1974 W_p de generador que se calcularon en el diseño preliminar se requieren módulos, lo que hace un total de 1980 Wp. Lo que supone un coste total de generador de 5702,4 €. Al ser la tensión elegida para el sistema de 24 V, que es la típica tensión de un gran número de paneles fotovoltaicos comerciales y además la de muchos inversores de baja potencia, especialmente diseñados para sistemas fotovoltaicos autónomos.

Se colocarán los tres paneles en paralelo quedando, para el generador fotovoltaico los valores siguientes para la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto:

I_{sc} del generador fotovoltaico (A)	25,2
V_{oc} del generador fotovoltaico (V)	36,5

Tabla 5.3. Valores de I_{sc} y V_{oc} del generador fotovoltaico.

5.4.2. Elección de la batería o acumulador.

Para la batería elegida se intentará cubrir la capacidad con el menor número de baterías posible, ya que esto también supone menor coste. Cuanto mayor sea la batería, menor el coste del Ah.



Figura 5.16. Imágenes de celdas del mismo tipo y marca que la batería elegida.

Para el sistema se ha elegido según el dimensionamiento previo, una batería con capacidad (C10) de 3000 Ah y 12 voltios de la marca Midac, por lo tanto, se tendrán que colocar 2 en serie.

Lo que supone un coste de acumulador de 4320 €. Este acumulador es mayor al calculado en el diseño previo de 2838 Ah ya que, al realizar la simulación final, la probabilidad de pérdida de carga con acumuladores de capacidad más ajustada a la capacidad definida por los datos del dimensionamiento previo. Se ha buscado una solución que se acerque más al objetivo del 5%.



Type	Nominal Voltage V	Actual Capacity		Ri mOhm	Isc kA	Dimensions (mm)			Weight		Electrolyte		No. of Terminals
		Ah/10Hrs	Ah/120Hrs			Length	Width	Overall Height	Wet Kg	Dry Kg	Weight Kg	Volume Litres	
6 OPzS 300	2	324	454	0.52	3.87	145	206	430	25.9	19.7	6.2	5.0	2
5 OPzS 350	2	377	588	0.57	3.48	124	206	546	29.3	21.8	7.5	6.0	2
6 OPzS 420	2	452	706	0.48	4.17	145	206	546	34.5	25.5	9.0	7.3	2
7 OPzS 490	2	528	823	0.41	4.87	166	206	546	39.4	29.4	10.0	8.1	2
6 OPzS 600	2	638	973	0.44	4.53	145	210	721	47.6	35.2	12.4	10.0	2
7 OPzS 700	2	745	1135	0.38	5.29	210	191	721	56.1	41.3	14.8	11.9	4
8 OPzS 800	2	851	1297	0.33	6.04	210	191	721	63.9	47.4	16.5	13.3	4
9 OPzS 900	2	958	1459	0.29	6.80	210	233	721	71.2	52.2	19.1	15.4	4
10 OPzS 1000	2	1064	1622	0.26	7.55	210	233	721	79.5	58.5	20.5	16.5	4
11 OPzS 1100	2	1170	1784	0.24	8.31	210	275	721	84.1	61.3	22.8	18.4	4
12 OPzS 1200	2	1277	1946	0.22	9.06	210	275	721	90.3	65.7	24.6	19.8	4
12 OPzS 1500	2	1622	2394	0.27	7.93	210	275	871	113.2	85.6	27.6	22.3	4
13 OPzS 1625	2	1757	2593	0.25	8.59	214	399	847	125.2	95.3	29.9	24.1	6
14 OPzS 1750	2	1892	2793	0.23	9.25	214	399	847	137.3	103.8	33.5	27.0	6
15 OPzS 1875	2	2027	2992	0.22	9.91	214	399	847	147.4	109.6	37.8	30.5	6
16 OPzS 2000	2	2162	3192	0.20	10.57	214	399	847	156.6	117.0	39.6	31.9	6
20 OPzS 2500	2	2703	3990	0.16	13.21	212	487	847	196.4	146.7	49.7	40.1	8
24 OPzS 3000	2	3244	4788	0.14	15.86	212	576	847	229.7	167.2	62.5	50.4	8

Tabla 5.4. Especificaciones de la batería elegida para el sistema.

5.4.3. Elección del regulador.

Para continuar con la elección de los elementos del sistema híbrido elegiremos el regulador. Como se mostró en los capítulos anteriores es muy importante la elección del mismo ya que condicionará la fiabilidad del sistema.

Se tendrán en cuenta una serie de factores del generador y de las baterías, que se resumen a continuación en una tabla resumen.

El regulador será capaz de manejar el 130 por ciento de la máxima corriente que, pueda circular por el generador fotovoltaico. Además será capaz de funcionar, sin ventilación forzada, para ello se presentan los datos extremos de temperatura para la ciudad de Los Palacios y Villafranca en Sevilla.

I _{sc} del generador fotovoltaico (A)	25,2 x 1,3 = 32,76
V _{oc} del generador fotovoltaico (V)	36,5
Rango de temperaturas	-0,9 - 43,3

Tabla 5.5. Factores a tener en cuenta para la elección del regulador.

Se han encontrado varias opciones según los cálculos especificados anteriormente, cuyas especificaciones se presentan a continuación:



Figura 5.17. Fotografía del regulador Steca PR 10-30.

Según muestra el fabricante en la descripción del aparato regulador, esta serie de reguladores de carga, Steca PR 10-30, es la más destacada entre los reguladores de carga solar.

Las tecnologías de carga más modernas unidas a la determinación del estado de carga con Steca-AntonIC, que ha sido de nuevo claramente mejorada, forman la unidad perfecta para el cuidado y control de la batería para una potencia de módulo de hasta 900 Wp. Mediante de símbolos, un gran display informa al usuario sobre los estados de funcionamiento. El estado de carga se representa de forma visual como si de indicadores de barra se tratasen. Datos como por ejemplo la tensión, el corriente y el estado de carga se pueden visualizar también en el display con números de forma digital. Además, el regulador dispone de un contador de energía que el usuario mismo puede resetear.

A continuación se muestra los planos del regulador y sus especificaciones en la tabla:

	PR 1010	PR 1515	PR 2020	PR 3030
Funcionamiento				
Tensión del sistema	12 V (24 V)			
Consumo propio	12,5 mA			
Datos de entrada CC				
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 47 V			
Corriente del módulo	10 A	15 A	20 A	30 A
Datos de salida CC				
Corriente de consumo	10 A	15 A	20 A	30 A
Tensión final de carga	líquido 13,9 V (27,8 V); gel 14,1 V (28,2 V)			
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)			
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)			
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)			
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)			
Condiciones de uso				
Temperatura ambiente	-10 °C ... +50 °C			
Equipamiento y diseño				
Ajuste del tipo de batería	líquido (ajustable a través menú)			
Terminal (cable fino / único)	16 mm² / 25 mm² - AWG 6 / 4			
Grado de protección	IP 32			
Dimensiones (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm			
Peso	350 g			

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

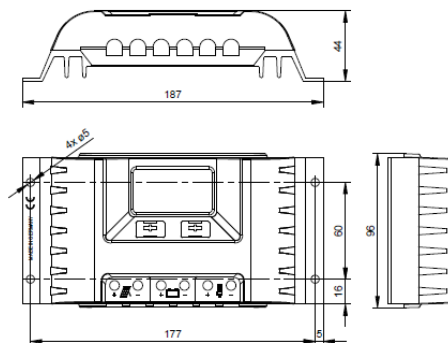


Figura 5.18. Planos y Especificaciones del regulador Steca PR 10-30.

Este regulador tiene un coste de 151 € como debo utilizar tres reguladores para llegar con cierta holgura a la corriente máxima del 130 % de la I_{sc} del generador fotovoltaico y pueda presentar el estado de carga con un incremento de coste de sólo 30 euros, es una de las cuestiones más importantes para elegir el regulador para la instalación fotovoltaica.

5.4.4. Elección del inversor

El último elemento de la instalación a elegir es el inversor. Para la elección del inversor se tiene que conocer, aparte de los factores ya presentados, el consumo máximo instantáneo que puede tener la instalación.

Según la tabla de consumos siguiente, sumando todos ellos hacen un total de 1750 Vatios.

Aparato/ Elemento Eléctrico	Potencia (W)
Puntos de luz (x16)	20
Frigorífico	200
Televisión	120
Equipo música	50
Ordenador (x2)	230
Lavadora	600

Tabla 5.6. Consumo de los aparatos de la instalación.

Existe un amplio catálogo de opciones para poder elegir un inversor de estas dimensiones de consumo en la salida. La opción más acertada es el modelo GMS1800/24 de la marca Irepso. Tiene una potencia nominal de 1800 W y una de pico de 3000 W.

INVERSOR IREPSOL GMS 1800/24	
Características físicas	
Largo	500mm.
Ancho	292mm.
Alto	187mm.
Peso	20Kg
Constructivas	
Base	Aluminio
Tapa	Chapa de acero galvanizado
Pintura	Epoxi al horno
Grado de estanqueidad	IP42
Tropicalización de los circuitos	Sí
Eléctricas	
Forma de onda de salida	Senoidal pura
Voltaje nominal de entrada	24 V
Rango de tensión de entrada	20-32
Tensión nominal de salida	230 o 120 Vac
Potencia nominal continua	1800 W
Potencia de pico	3000 W pico
Variación de tensión de salida	? 4%
Frecuencia nominal	50 o 60 Hz
Variación de la frecuencia de salida	
Rendimiento con cargas resistivas	86%
Distorsión armónica (Carga resistiva)	? 3%
Autoconsumo en búsqueda de carga	
Rango operativo de temperatura ambiente	-10 a 50°C a carga nominal

Figura 5.19. Características eléctricas del inversor Irepso GMS1800.

Una vez elegidos los componentes del sistema, se pasa a introducir los datos de cada uno de ellos en la base de datos del programa. Para ello, se realizará en la opción del programa de Base de datos, al igual que se introdujeron los datos meteorológicos de Los Palacios y Villafranca en apartados de este capítulo anteriores. Se matiza, que el inversor elegido no se introducirán sus datos en la base de PVSyst ya que, para sistemas fotovoltaicos aislados, el programa no

incluye la opción de incluir un inversor para su modelado, sin embargo, a partir de los datos proporcionados del sistema en continua se puede modelar el comportamiento en alterna conociendo la eficiencia del inversor utilizado, en este caso, 93%. Se tendrá en cuenta incrementando los datos de consumo un 10%, al introducirlos tanto en el diseño previo como en la simulación final.

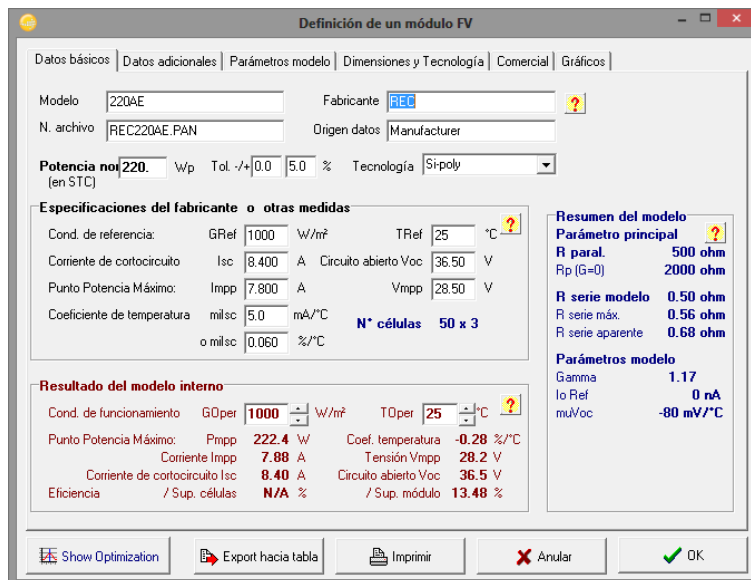


Figura 5.20. Especificación del módulo elegido en PVSYS.

Una vez terminado la creación de nuestro módulo en la base de datos, se pasa a introducir los datos técnicos del acumulador o batería seleccionada, para ello se seguirá el mismo procedimiento pero en este caso en el apartado de Baterías dentro de la base de datos.

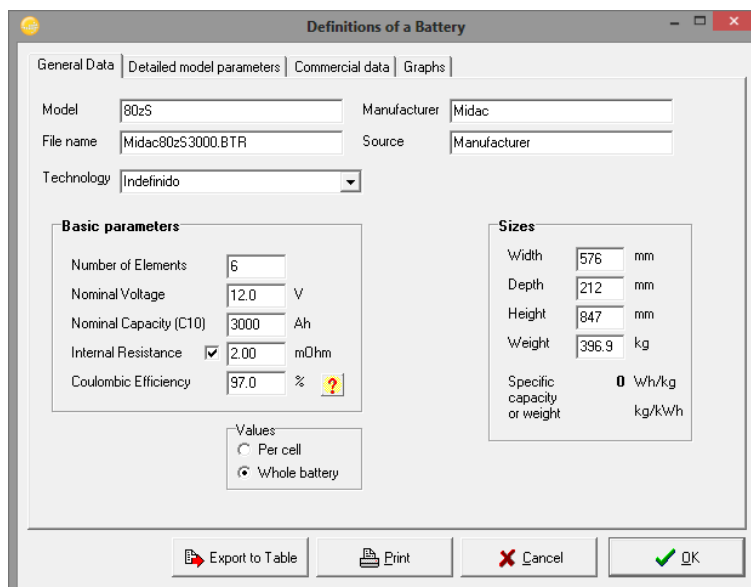


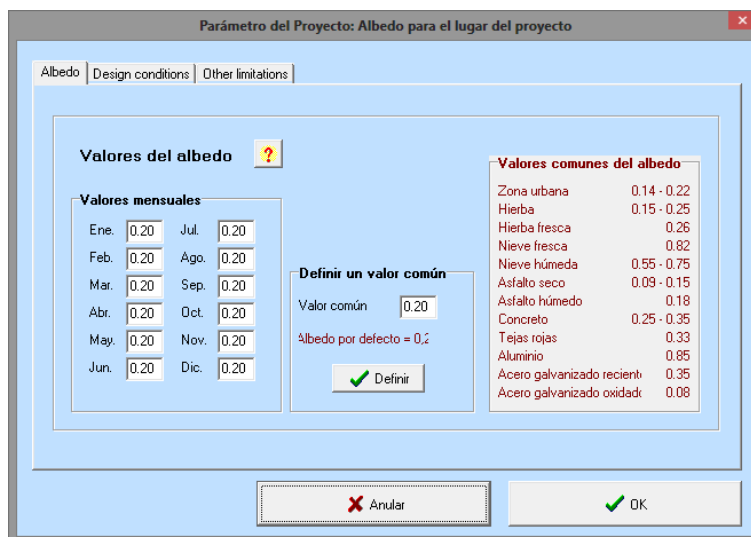
Figura 5.21. Especificación de la batería elegida en PVSYS.

Para introducir los datos del regulador, se tomará uno por defecto de los del propio programa, ya que no condiciona, en gran medida, el rendimiento del sistema. Una vez llegado a este punto, es el momento de dimensionar todos los cálculos y elementos elegidos.

5.5. Dimensionado.

5.5.1. Simulación.

Para comenzar la simulación dentro de PVSyst, se debe realizar como en anteriores puntos de este proyecto cuando se abordó el diseño previo, especificando el lugar del proyecto y su base de datos meteorológicos correspondientes. Una vez hecho esto, se pasa a definir el albedo, por defecto, que se establece como 0,2 en cada punto como se muestra en la figura, al ser éste el valor más típico.




Zona urbana	0.14 - 0.22
Hierba	0.15 - 0.25
Hierba fresca	0.26
Nieve fresca	0.82
Nieve húmeda	0.55 - 0.75
Asfalto seco	0.09 - 0.15
Asfalto húmedo	0.18
Concreto	0.25 - 0.35
Tejas rojas	0.33
Aluminio	0.85
Acero galvanizado reciente	0.35
Acero galvanizado oxidado	0.08

Figura 5.22. Selección de Albedo en PVSYST.

Continuando con los pasos previos a la simulación, se definirá la inclinación de los paneles, se ha elegido un sistema estático. Esta inclinación, que se calculó en el diseño previo es de 60°. El siguiente paso es definir el horizonte, este punto no se modificará, realmente el tiempo que el sol está iluminando la superficie de los módulos y su inclinación.

A continuación se definen las sombras, pero en la especificación de requisitos se dejó claro que no habría ningún tipo de sombras, por lo tanto, tampoco se modifica este punto. El siguiente paso es definir el sistema, se empieza por los consumos y, se cargan los mismos que se introdujeron para el diseño previo, además de la fiabilidad y los días de autonomía del sistema.

Una vez hecho esto se especifican el módulo y la batería que se eligieron.


Stand-alone System definition, Variant "Nueva variante de simulación"

Presizing help

Av. daily needs :

Enter accepted LOL

0.4

%

?

5.7 kWh/day

Enter requested autonomy

5

day(s)

?

Battery (user) voltage

24

V

?

Suggested capacity

2838 Ah

Suggested PV power

2.0 kWp (nom.)

Select battery set

Sort Batteries by

☒ voltage
☐ capacity
☐ manufacturer

Favorites

12 V

3000 Ah

80zS


Midac

Open

2

✓

Batteries in serie



Number of batteries

2


Battery pack voltage

24 V

1

✓

Batteries in parallel



Global capacity

3000 Ah

Stored energy

72.0 kWh

Select module(s)

Sort modules by:

☒ power
☐ technology
☐ manufacturer

Favorites

220 Wp 24V

Si-poly

220AE


REC

Open

1

✓

Modules in serie



Please define the regulator ("Next" button)


Array voltage at 50°C

26.1 V

9

✓

Modules in parallel



Array current

71.2 A

9 Modules

Array nom. power (STC)

2.0 kWp

Cancel

OK


Regulator 

Figura 5.23. Especificación de batería y módulo dentro de la simulación.

Previamente se ha sobredimensionado el acumulador y el generador para compensar los factores de pérdidas del sistema y utilizar el módulo que se eligió anteriormente. Este módulo es más económico y, una batería del catálogo, también la más económica dentro de su capacidad.

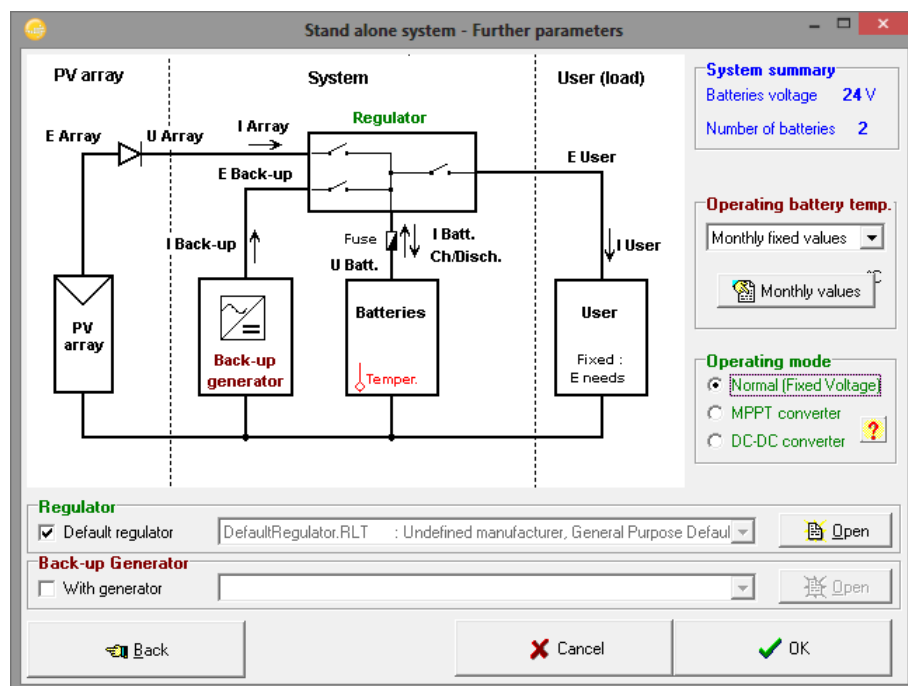


Figura 5.24. Especificación de regulador y temperatura de batería.



Una vez se llega a este punto, no queda más remedio que calcular las pérdidas del sistema, para poder incluirlas en la simulación. Para ello, se hará el diseño del cableado.

5.5.2. Cableado del sistema.

La elección del cableado debe de cumplir los requisitos de caída de tensión y tiene que ser fiable. No debe deteriorarse su capa aislante ni por el efecto de los rayos UV, temperatura o humedad.

Para evitar esto último se utiliza cable solar, certificado para las siguientes normas.

- ❖ Resistente al ozono según 50396
- ❖ Resistente al UV según HD 605/A1
- ❖ Retardador de llama según IEC 60332-1-2
- ❖ Libre de halógenos según EN 50267-2-2
- ❖ Resistente a la corrosión según EN 60811-2-1

En función de la corriente máxima del sistema se tiene que utilizar una sección de cable mínima. La intensidad máxima viene dada por la $1,25 I_{sc}$ del generador que, siendo $I_{sc} = 25,2 \text{ A}$ y $1,25 \times I_{sc} = 31,5 \text{ A}$. Por lo tanto, la sección mínima del conductor debe ser igual o superior a 4 mm^2 .

Sección (mm^2)	$I_{\text{máx}}$ (A)	Resistencia ($\text{m}\Omega/\text{m}$)
1,5	17	15
2,5	24	8,8
4	32	5,5
6	41	3,7

Tabla 5.7. Cableado por corriente máxima según la normativa.

Una vez elegida esa sección mínima hay que seguir otro criterio para la elección definitiva de la sección de conductor a usar. Este criterio se basa en la caída de tensión máxima que se puede producir en cada una de las líneas. Este criterio viene claramente explicado en la siguiente figura.

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, y comprobando la tensión del cable, y contemplando que es un cable de cobre, debe de cumplir lo siguiente según la expresión:

$$S = \frac{2 L I}{56(V_a - V_b)}$$

En la fórmula los valores de las variables son:

- ❖ S: Sección del conductor en mm^2 .
- ❖ L: Longitud del conductor en m.
- ❖ I Intensidad máxima que circula por el conductor en A.
- ❖ V_a ; V_b : Caídas de tensión en V en ambas líneas.



Las secciones de los cables calculadas deben ser tal que las caídas máximas de tensión entre ellos, comparadas con la tensión a la que estén trabajando, estén por debajo de los límites recomendados siguientes:

- ❖ Líneas de campo de paneles hasta el acumulador 3%.
- ❖ Líneas desde el acumulador hasta el inversor 1%.
- ❖ Línea principal 3%.
- ❖ Línea desde la principal hasta las iluminaciones 3%.
- ❖ Línea desde la principal hasta los equipos 5%.
- ❖ Línea desde el campo de paneles hasta la carga DC 5%.
- ❖ Línea de campo desde los paneles fotovoltaicos hasta el acumulador o batería.

Tiene una longitud de 2 metros. El cable utilizado tiene una sección de 4 mm². La intensidad máxima viene dada por la 1,25 x I_{sc} del generador que es: 1,25 x I_{sc} = 31,5 A. Por lo tanto:

$$V_a - V_b = 2 \times 2 \times \frac{31,5}{56 \times 4} = 0,5625$$

La tensión del sistema híbrido es de 24 voltios, por lo tanto como el resultado obtenido es de 0,56V supone una caída de tensión respecto los 24 V del 2,3 %, que es inferior al 3% recomendado.

De este resultado se puede llegar a la conclusión de que un ligero aumento en la longitud de esta línea haría dispararse las pérdidas, debido principalmente, a que se trabaja a 24 V. Por ejemplo, con una longitud de línea de 4 metros, la pérdida de tensión sería de 4,6%. Se podría minimizar este efecto aumentando la sección del cableado, para conseguir que esta caída de tensión se redujese, por debajo del límite recomendado.

- ❖ Línea desde el acumulador hasta el inversor.

Por corriente máxima como se calculó para la línea anterior, la sección es la misma que en las otras 2 líneas, al ser igual dicha corriente. Esta línea tiene una longitud de 1,2 m. Lo que supone una caída de tensión de:

$$V_a - V_b = 2 \times 1,2 \times \frac{31,5}{56 \times 4} = 0,34$$

Esta cifra supone el porcentaje de caída del 0,92%, inferior al 1% recomendado.

- ❖ Resto de líneas del sistema.

Al convertirse la señal a alterna y, subirse su tensión a 220 V, las pérdidas son despreciables dentro de una vivienda de 30 m².

A continuación se introducirá en el programa PVsyst los datos calculados anteriormente en este apartado para continuar con el dimensionamiento del sistema.

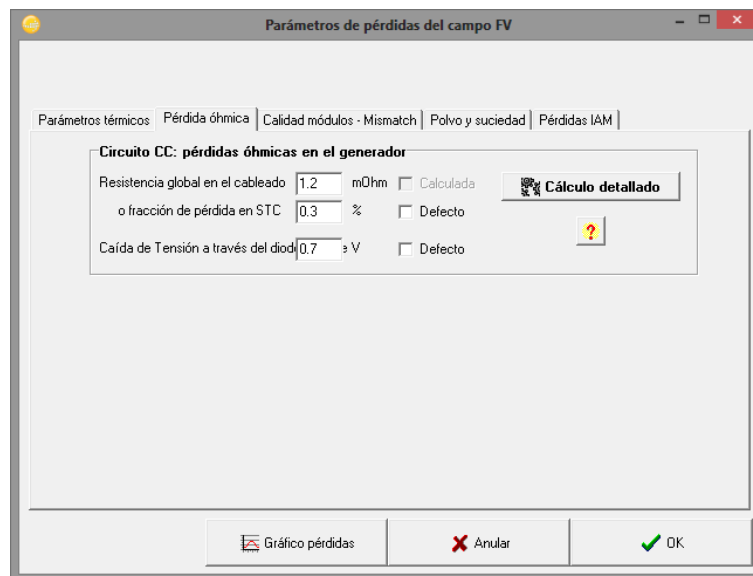


Figura 5.25. Introducción de los factores de pérdidas.

En un sistema fotovoltaico autónomo, se incluye un diodo para proteger los módulos de las descargas de la batería, y que no circule corriente por ellos proveniente de la batería. Por lo tanto, como se puede ver en la imagen anterior, se incluye una caída de 0,7 V que corresponde al diodo de bloqueo. Esto puede pasar cuando los módulos no estén generando electricidad.

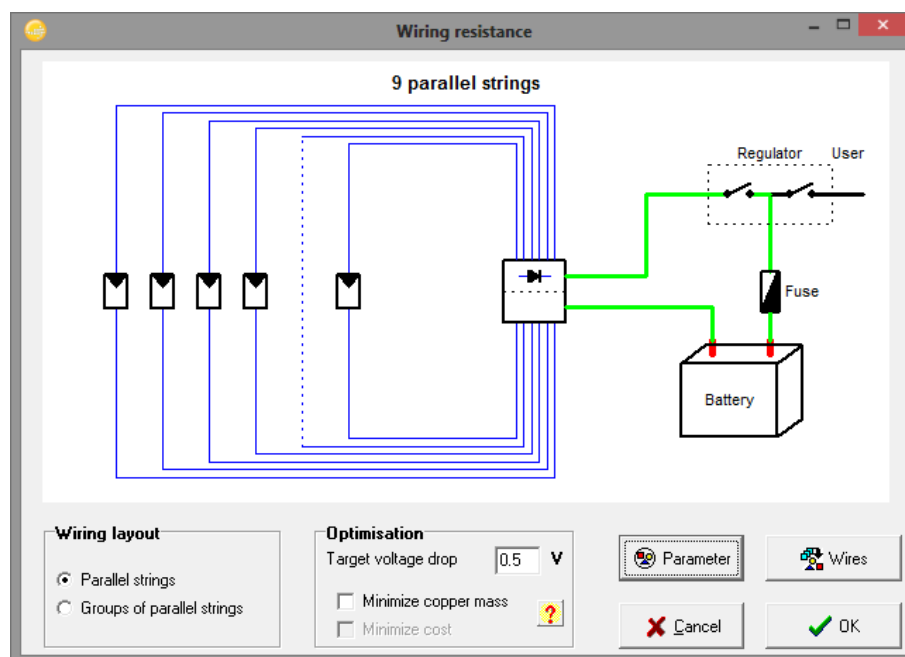


Figura 5.26. Inclusión de pérdidas por cableado.

Las únicas pérdidas consideradas en el programa son las mencionadas por lo tanto se dejaron por defecto los valores anteriores. Dicho todo esto, se continuará hasta la simulación final.

5.6. Resultados de la simulación del sistema.

Se realizará la simulación que a su vez se generan datos del comportamiento del sistema híbrido, en función de los datos que se han introducido anteriormente de los elementos, consumos, balances y datos meteorológicos.

Una vez simulado el sistema, probablemente, la gráfica más interesante es la que se muestra a continuación. En ella se muestra la energía que no es entregada a las cargas, franja azul de las barras, las pérdidas en el generador, franja morada de las barras, las pérdidas en la batería, franja verde, y la energía entregada a las cargas, franja roja. Se puede ver que el sistema está optimizado para hacer frente al consumo de los meses de junio, julio y agosto, que es el mayor y, sobretodo, para el mes de diciembre que es el que peor relación radiación solar frente al consumo.

El resto de meses hay energía de sobra que no se puede almacenar en las baterías, por lo tanto, el regulador tiene que disiparla, para no sobrecargar las baterías.

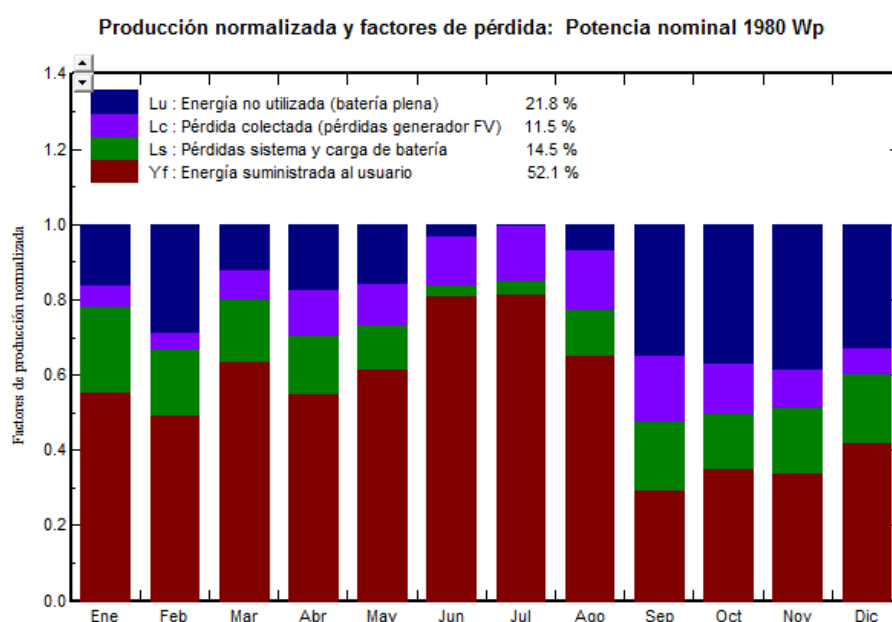


Figura 5.27. Factores de pérdidas del sistema.

Una tabla muy interesante para contrastar con anteriores cálculos es la que se utilizó para el diseño previo en puntos anteriores del capítulo y, muestra principalmente la probabilidad de pérdida de carga del sistema.

Como se puede ver en la última columna, que corresponde a la probabilidad de pérdida de carga, sale mayor a la del diseño previo, pero en ningún caso se aleja demasiado del objetivo del 5%.

Utilización de Energía

	EArray	E Load	E User	SolFrac	T LOL	Pr LOL
	kWh	kWh	kWh		Hora	%
Enero	228.3	161.1	161.1	1.000	9	1.21
Febrero	184.2	135.7	135.7	1.000	39	5.80
Marzo	181.5	144.2	144.2	1.000	25	3.36
Abril	184.7	144.2	144.2	1.000	43	5.97
Mayo	191.8	161.1	161.1	1.000	36	4.84
Junio	238.7	231.6	231.6	1.000	17	2.36
Julio	271.7	260.6	260.6	1.000	27	3.63
Agosto	308.9	260.6	260.6	1.000	32	4.30
Septiembre	221.0	135.7	135.7	1.000	47	6.53
Octubre	227.9	161.1	161.1	1.000	26	3.49
Noviembre	218.4	144.2	144.2	1.000	21	2.92
Diciembre	207.4	144.2	144.2	1.000	3	0.40
Año	2664.4	2084.1	2084.1	1.000	325	3.71

Figura 5.28. Utilización de la energía.

Seguidamente se muestra el Performance ratio en la imagen siguiente. Es muy utilizado en sistemas fotovoltaicos conectados a red, para estudiar el rendimiento de los mismos.

Para el caso de sistemas autónomos que se realiza, no se trata de conseguir la producción máxima, sino de adecuar esté, a un consumo determinado. Se presenta a continuación el PR de la instalación, barras rojas de la imagen y la relación entre energía solar disponible y consumo (SF).

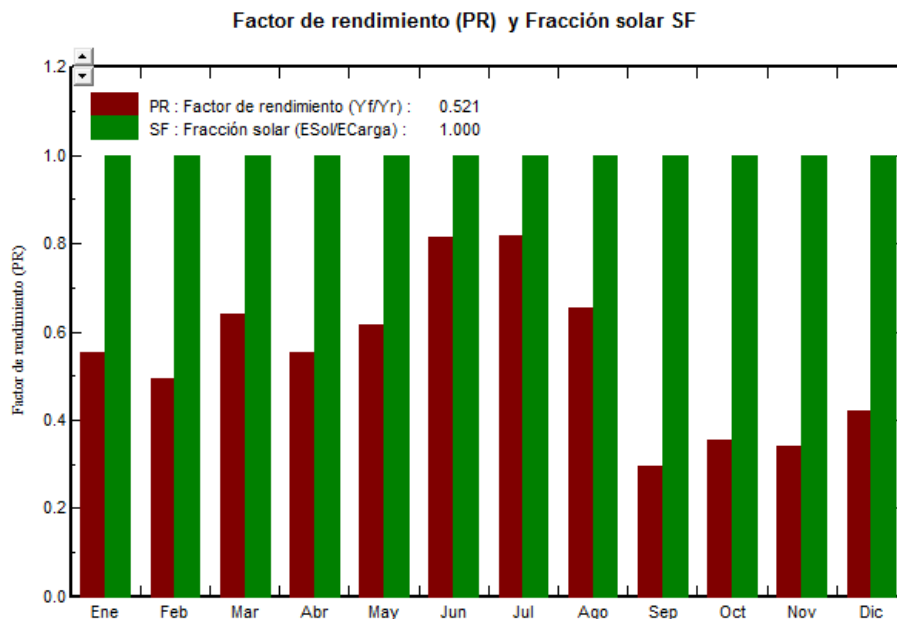


Figura 5.29. Utilización de la energía.

Otra gráfica importante donde se muestran sus resultados de forma muy esquemática los distintos porcentajes de pérdidas del sistema. Analizándolo, se puede optimizar el sistema para que éstas sean mínimas. Estas pérdidas vienen desglosadas en distintos apartados dentro del mismo esquema, que vienen clasificadas por pérdidas de radiación, por la inclinación y orientación de los paneles principalmente; pérdidas en el generador, mismatch de paneles,

temperatura, impedancia de los cables...; y, por último las pérdidas en el sistema de acumulación.

Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación" - año

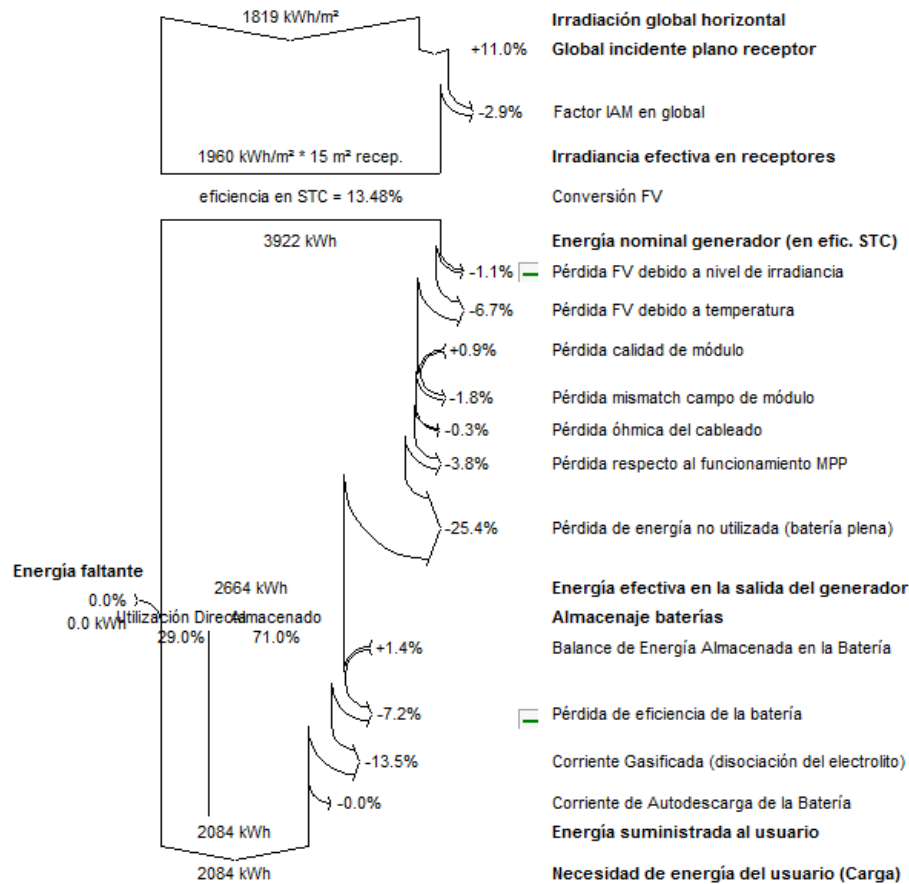


Figura 5.30. Diagrama de pérdidas del sistema.

5.7. Seguridad y protecciones.

Para tratar el punto de seguridad, punto muy importante de cualquier proyecto eléctrico es básicamente se debe proteger tanto a los equipos como a las personas que van a hacer uso de la instalación o realizar su mantenimiento.

Se toma como referencia la norma técnica publicada por la Junta de Andalucía.

5.7.1. Medidas de protección del generador fotovoltaico.

Al ser la tensión máxima alcanzable por el generador FV inferior a 75 V, no hace falta ninguna medida de protección especial, sólo poner a tierra los marcos de los módulos.

5.7.2. Medidas de protección de las baterías.

Se tiene que tener especial cuidado en la renovación del aire. Al no utilizarse ventilación forzada y al ser las baterías de plomo, la superficie de entrada vendrá dada por la siguiente expresión:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 28 \times \frac{Q_r}{1000}$$

Fórmula correspondiente a la Superficie de entrada de aire.

$$Q_r = 6 \times V_f \times I_f$$

Fórmula correspondiente al caudal de aire mínimo Superficie de entrada de aire. Siendo las variables:

- ❖ V_f : Tensión de la batería máxima (V).
- ❖ I_f : Intensidad de fin de carga de la batería (A).
- ❖ Q_f : Caudal de aire mínimo (l/h).

Los valores para este proyecto para realizar los cálculos de la superficie son:

- ❖ $V_f = 24 \text{ V}$.
- ❖ $I_f = 6,2 \text{ A}$.
- ❖ $Q_f = 892,8 \text{ l/h}$.
- ❖ $S = 24,99 \text{ cm}^2$ redondeando el valor calculado y normalizado la superficie de entrada será de $S = 25 \text{ cm}^2$.

Dado este resultado calculado anterior, se instalará una rejilla de ventilación con una apertura de 56 cm^2 como mínimo. Se ha elegido una rejilla lineal y fija para que no pueda ser manipulada y no se reduzca el caudal de aire.

El modelo elegido es el GLP-1 con un tamaño de 25 cm de largo y $7,5 \text{ cm}$ de alto, que hace una superficie de $187,5 \text{ cm}^2$, que es superior a los 25 cm^2 calculados anteriormente, aun siendo la rejilla más pequeña del catálogo. Esto permite instalar un filtro, para evitar la entrada de polvo en la caseta, que podría perjudicar al correcto funcionamiento de los equipos. Al ser la tensión de las baterías inferior a 75 V , se podrán instalar el regulador y el inversor en la misma sala o caseta que éstas. A continuación se muestra la imagen de las rejillas elegidas para la caseta para ventilar la misma:



Figura 5.31. Rejilla de ventilación elegida para la caseta.

5.7.3. Medidas de protección del inversor.

Para las medidas tomadas para proteger el inversor, a la salida del mismo se instalará un interruptor magnetotérmico y un diferencial por cada circuito. Se colocará un interruptor diferencial de 25 A y 30 mA de sensibilidad para cada circuito puesto que las corrientes para los circuitos de las cargas son muy inferiores a 25 A. Se instalará una toma de tierra independiente para cada una de las masas, incluida la del inversor. Y por último se instalará otra toma de tierra en una de las fases del circuito de alterna, para que ésta actúe como neutro.

5.8. Conexión a tierra del sistema.

La conexión a tierra es importante para la seguridad de la instalación. Por ello se ha elegido la configuración de generador flotante como se muestra en el esquema de la figura siguiente, ya que es un tipo que presenta una forma muy segura para contactos directos. Se calculará según Instrucciones técnicas de baja tensión de los reglamentos.

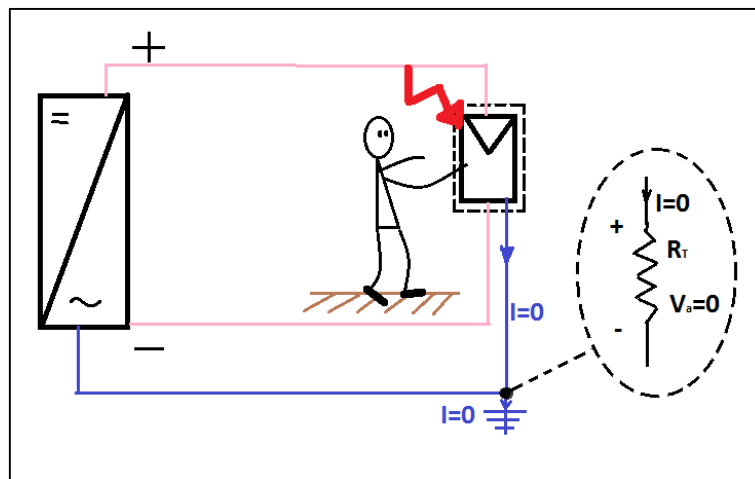


Figura 5.32. Esquema de configuración de conexión a tierra con generador flotante, en situación de contacto directo.

Fuente del esquema: propia

Para la propia estructura de la conexión se utilizarán picas con de acero de un diámetro mínimo de 14,2 mm recubiertas por una capa de cobre. El cable utilizado será de cobre y tendrá una sección mínima de 25 mm².

Para eliminar cualquier tipo de perturbación eléctrica provocados por un rayo en todos los marcos de los módulos, se colocarán picas independientes separadas por una distancia prudencial para que no afecte al circuito de alterna.

La colocación de las picas será la siguiente. Se introducirá cada pica en el suelo un mínimo de 80 cm. La pica elegida es una pica de toma de tierra de acero de 14,6 mm de diámetro con recubrimiento de cobre de 300 µm y de 1000 mm de largo. El cable de tierra, es de cobre con una sección de 25mm².



5.9. Casetas para los equipos de la instalación.

Dentro de la parcela de la casa se ha decidido construir una pequeña caseta para alojar las baterías, el regulador y el inversor, ya que las baterías no se pueden colocar en ninguna habitación que sea habitada. Se tendrá en cuenta la normativa, para que los equipos queden alojados conforme a ella.

Respecto a los acumuladores, se dejará un pasillo de un metro para poder realizar fácilmente su mantenimiento y sustitución en caso de ser necesario el mismo. Irán colocadas en una estantería que no se deteriore con el ácido del electrolito. En una parte de la caseta a la que no lleguen directamente los rayos ultravioleta. Además se colocará la rejilla calculada en el apartado anterior 5.7.2 para asegurar su ventilación correcta.

La colocación del regulador será a una distancia entre 0,5 y 1 metro de los acumuladores, para evitar riesgos de explosión y a una altura máxima de 1,7 metros. El inversor no estará expuesto a la radiación ultravioleta, polvo o la humedad del lugar.

Se colocará una puerta con cerradura para evitar la entrada de personal no autorizado, para evitar riesgos innecesarios. No se pondrá ninguna ventana, para evitar que lleguen rayos ultravioleta a los equipos de la caseta.

Toda la instalación eléctrica en su conjunto y en particular la iluminación, se instalarán según la dicta la instrucción técnica ITC-BT-30 del código de baja tensión. La caseta se construirá utilizando ladrillo para así de esta forma aislar térmicamente y de una manera más eficiente los equipos que contenga la caseta.



CAPÍTULO 6

PLANOS Y ESQUEMAS

6.1. Situación y emplazamiento.

Los Palacios y Villafranca es un pueblo, con una población ligeramente superior a 37.000 habitantes, situado en la provincia de Sevilla que basa su economía en el sector primario sobre todo y un también como en la mayor parte del país en el sector terciario.

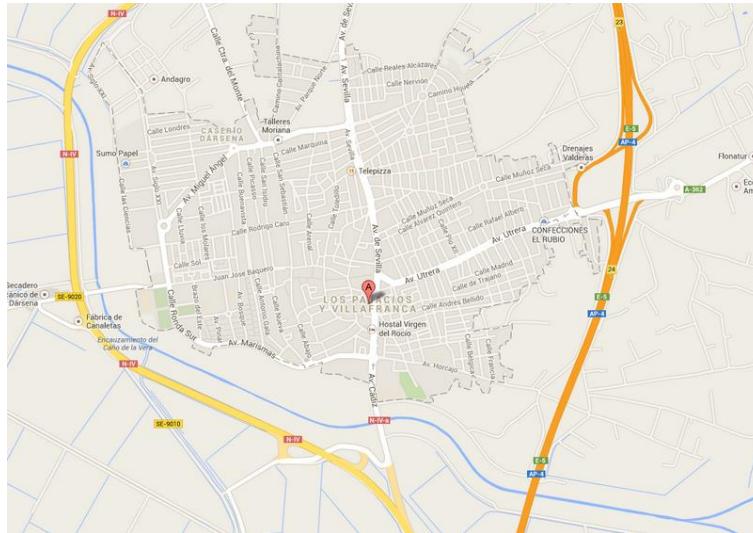


Figura 6.1. Situación de Los Palacios y Villafranca.

Fuente del esquema: <https://maps.google.es/>

La vivienda se encuentra situada la parte más alta de un monte, a unos 400 metros sobre el nivel del mar según se muestra en la figura siguiente. Su situación, evita ser objeto de sombras que afectarían en el rendimiento del generador fotovoltaico.

La parcela, se encuentra dentro del término municipal del propio Los Palacios, pero justo en el límite con el término urbano del pueblo como se muestra en la figura. La casa se encuentra situada en la zona marcada con un cuadro azul como se mencionó anteriormente.



Figura 6.2. Situación de la parcela respecto a Los Palacios y Villafranca.

Fuente de la imagen: <https://maps.google.es/>

La situación de la caseta de la instalación dentro del marco de la parcela es el cuadro en color rojo, y la situación de los paneles fotovoltaicos encima del tejado de la casa marcada en el paralelogramo azul.

6.2. Esquemas unifilares.

A continuación se presentan los esquemas eléctricos de la instalación tanto para la parte de corriente continua como la parte de corriente alterna.

Para comenzar se presentará el esquema de corriente continua de la parte de la instalación.

6.2.1. Esquema de la Parte DC.

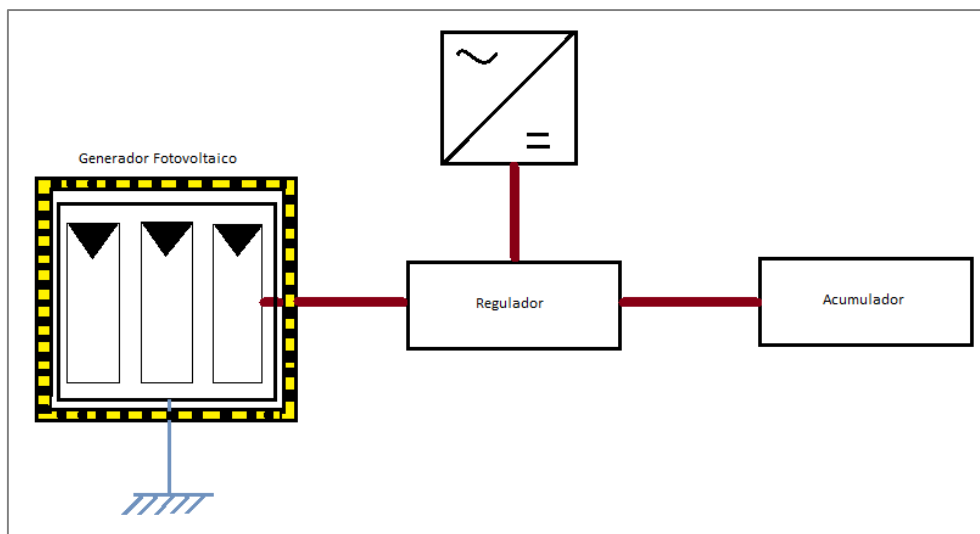


Figura 6.3. Esquema unifilar parte DC de la instalación.

Fuente del esquema: Fuente propia

6.2.2. Esquema de la Parte AC.

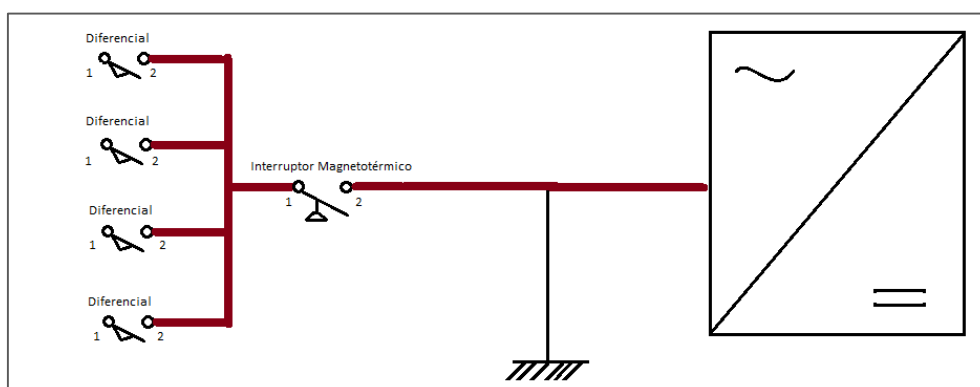


Figura 6.4. Esquema unifilar parte AC de la instalación.

Fuente del esquema: Fuente propia



CAPÍTULO 7

PRESUPUESTOS



7.1. Introducción.

Se buscaron precios distintos en diferentes proveedores de energía solar y eléctrica. Para los precios de la mano de obra y materiales de construcción se ha utilizado la base de datos Bedec en la página oficial Construmatica.

7.2. Precios de Construcción.

En este apartado de precios, se presentan los precios de la construcción de la caseta que aloja los equipos del sistema exceptuando los módulos fotovoltaicos, y la instalación de la estructura para los módulos. Para empezar en la tabla siguiente se presentan los precios de la materia prima.

Tarea	Material (Unidad)	Precio Unitario (€)	Cantidad	Precio Total (€)
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Agua (m ³)	1,10	0,16	0,18
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Mortero (Kg)	39,31	0,70	27,52
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Ladrillo	0,35	446,47	156,26
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Mezclador Mortero (h)	1,70	2,16	3,67
Tejado Caseta 1,5x1,2 m	Placa de fibrocemento	5,16	2,09	10,78
Tejado Caseta 1,5x1,2 m	Gancho y juntas	5,16	3,06	15,79
Puerta Caseta	Rejilla de ventilación	12,00	1,00	12,00
Puerta Caseta	Manta filtrante (300x100)	0,64	1,00	0,64
Puerta Caseta	Hoja de puerta (1,8x0,6x 0,035)	128,40	1,00	128,40
Puerta Caseta	Pre-marco Puerta	22,84	1,00	22,84
Puerta Caseta	Agua (m ³)	1,10	0,02	0,02
Puerta Caseta	Mortero (Kg)	39,31	0,07	2,75
Puerta Caseta	Mezclador Mortero (h)	1,70	0,20	0,34
Estructura Paneles	Estructura de módulos VarioTop	105,31	2,00	210,62
Total				591,82 €

Tabla 7.1. Precio de materiales de construcción.



A continuación en la siguiente tabla se muestran los precios de la mano de obra.

Tarea	Personal	Precio hora(€)	Horas	Precio Total(€)
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Albañil y peón.	6,5	0,7	4,55
Tejado Caseta 1,5x1,2 m	Montador y peón	5,16	2,09	10,78
Puerta Caseta	Albañil y peón.	128,40	1,00	128,40
Estructura Paneles	Montador y peón	105,31	2,00	210,62
Total				354,35 €

Tabla 7.2. Precio de materiales de construcción.

7.3. Precios de instalación eléctrica.

Para los precios de la instalación eléctrica, en este apartado se presentan los precios en una tabla similar a la anterior de los precios de los materiales de construcción. Para empezar se presentan los precios de la materia prima.

Tarea	Material (Unidad)	Precio Unidad(€)	cantidad	Precio Total(€)
Toma de tierra	Conductor de cobre desnudo de 25mm ²	1,20	15,00	18,00
Toma de tierra	Pica de tierra de acero y recubrimiento de cobre	8,87	2,00	17,74
Montaje paneles	Panel silicio policristalino REC220AE	619,00	3,00	1857,00
Montaje paneles	Conector macho MC3	2,86	3,00	8,58
Montaje paneles	Conector hembra MC3	2,86	3,00	8,58
Montaje paneles	Pinza aluminio para módulos con marco	2,10	12,00	25,20
Montaje paneles	Cable solar SOLAR XLR	0,99	12,00	11,88
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Batería MIDAC 24OPZ3000	2312,34	2,00	4624,68
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Inversor Irepso GMS1800	1142,00	1,00	1142,00
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Regulador Steca PR 10-30	217,00	1,00	217,00
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Cable solar SOLAR XLR	0,99	4,00	3,96
Instalación de las protecciones de AC	Caja para cuadro eléctrico AC	25,15	1,00	25,15
Instalación de las protecciones de AC	Magnetotérmico	3,30	1,00	3,30
Instalación de las protecciones de AC	Interruptor diferencial sensibilidad 30 mA	56,33	4,00	225,32
Total				8.188,39 €

Tabla 7.3. Precio de materiales de instalación eléctrica.



Los precios de la mano de obra para los electricistas instaladores de los materiales anteriores vienen desglosados en la siguiente tabla:

Tarea	Personal	Precio hora(€)	Horas	Precio Total(€)
Toma de tierra	Electricista y ayudante	34,63	3,50	121,21
Montaje paneles	Electricista y ayudante	5,16	4,50	23,22
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Electricista y ayudante	128,40	3,20	410,88
Estructura Paneles	Electricista y ayudante	105,31	1,50	157,97
Total				713,27 €

Tabla 7.4. Precio de mano de obra de instalación eléctrica.

Para terminar este capítulo, y poder facilitar de una manera más gráfica las tareas Descomposición de precios en tareas A continuación, se presentan los precios de las distintas tareas y el precio total del proyecto.

Tarea	Personal	Horas	Precio Total(€)
Toma de tierra	Electricista y ayudante	3,50	121,21
Montaje paneles	Electricista y ayudante	4,50	23,22
Instalación de Inversor, Regulador y baterías	Electricista y ayudante	3,20	410,88
Estructura Paneles	Electricista y ayudante	1,50	157,97
Paredes de Caseta 1,5x1,2x2 m	Albañil y peón.	0,7	4,55
Tejado Caseta 1,5x1,2 m	Montador y peón	2,09	10,78
Puerta Caseta	Albañil y peón.	1,00	128,40
Estructura Paneles	Montador y peón	2,00	210,62
Total		17,95	1.067,62 €

Tabla 7.5. Precio desglosado de cada una de las tareas y el total del proyecto.



CONCLUSIONES



Una vez realizado el Trabajo Fin de Grado (TFG), tengo que destacar varios puntos influyentes dentro de este marco de las energías renovables y después continuare con las ideas más importantes del desarrollo y ejecución del mismo.

El sector de las energías renovables tiene un papel más relevante cada año en la economía europea. Por lo tanto hace que las compañías dedicadas a la energía renovable sean más líderes mundiales. La unión Europea en estos años asume el protocolo de Kyoto y por medio de las energías renovables como herramienta imprescindible para llegar a los fines marcados por el ya mencionado protocolo.

El sector de las energías renovables ha creado muchos puestos de trabajo y ha impulsado otros muchos destinados en un principio a fines muy diferentes. Como ejemplo de estos nuevos puestos de trabajo tenemos Técnico de Energías Renovables aplicadas a Edificios, Arquitecto Paisajista, Inspector de Instalaciones de Energía Renovable, o Técnico en Industria Eólica.

Una vez finalizado este proyecto de sistema autónomo fotovoltaico, uno personalmente se da cuenta, que puede proceder a construir de forma propia y ayudado por varios programas libres y gratuitos en la red como puede ser para este caso el caso de PVSyst, una red autónoma diseñada por una persona con unos conocimientos adquiridos, donde puedas llevar energía a lugares aislados en cualquier parte del mundo.

Si se conoce la idea, la necesidad y las características del terreno donde se desea alimentar de energía nueva y renovable se podrán llevar a cabo el proyecto en cualquier parte del mundo.

Como trabajos futuros para el proyecto diseñado se propone:

En caso de plantear un aumento de potencia de la instalación fotovoltaica diseñada, se deberá de abordar la posibilidad de colocar un seguidor solar en las bases de las placas solares, colocadas en la misma finca, con la cantidad de paneles fotovoltaicos suficientes para suministrar la ampliación de potencia deseada.



AGRADECIMIENTOS



En estos momentos de culmen y finalización de mi formación universitaria, me gustaría expresar mi agradecimiento a las personas que me han ayudado en mi desarrollo intelectual y personal en todos estos años.

Voy a intentar nombrar a todos:

A mis padres Marce y Salus, por simplemente estar siempre donde han debido estar, y además por ser los primeros en creer y apostar en mí. No tengo palabras para agradecerles tanto durante toda mi vida, si me encuentro en esta situación es simplemente por enseñarme a trabajar cada día para alcanzar la meta que uno se proponga en cada momento.

A mi hermano por compartir cada día de estos intensos y duros años en los cuales solamente un hermano, puede soportar los momentos de estado de ánimo bajo.

A Jesús Rojas, Maite Sanabrias e hijos María y Miguel, simplemente, sin vuestro apoyo nada hubiera sido posible.

A Raquel C. H. por estar a mi lado cada día durante estos últimos años de carrera. El camino se hace andando, gracias a ti he podido superar cada día para alcanzar esta meta, gracias por quererme tanto, espero que este paso sea un gran salto para nuevos retos que compartiremos juntos.

A mi familia en general, por ser la mejor familia del mundo y demostrarlo siempre. A Angelita y José, Alfonso, Ángel, Toñi y Francisco, Maruja, Antonio, Paco... desde aquí muchas gracias por todo.

A mis amigos de siempre Juan Carlos Puente, Sergio Ramírez y José Ángel Gallego porque me dais la vida.

No me olvidaré de mis amigos Eloy García, Fernando Bel, Carlos Amaro, gracias chicos por darme tan grandes y buenos momentos.

A mis amigos de la Universidad Carlos 3 de Madrid, Juan Diego Gracia Cortijo, Samuel Fernández Culebras, Mónica Domínguez Domínguez gracias a vosotros el camino se ha hecho más ameno.

Como no acordarme de mi tutor Vicente Salas, sin él nada de este proyecto hubiera salido hacía delante. Gracias por la comprensión y dedicación durante estos meses.

Sería imposible mencionar a todos mis profesores, pero con este simple comentario me gustaría homenajear a todos ellos qué durante toda mi estancia en esta maravillosa Universidad Carlos III han hecho posible mi formación universitaria.

Y a todas las personas que se me han olvidado nombrar, porque seguro que se me han olvidado muchos, puestos qué en estos años he conocido a muchísima gente. Si no os he mencionado, perdonarme pero debo de decir que también lo merecéis, no me lo tengáis en cuenta.



BIBLIOGRAFÍA



1. *"Applied Photovoltaics"*, Stuart R. Wenham, Martin A. Green y Muriel E. Watt, Centre for Photovoltaic Devices and Systems.
2. *"Solar Cells, operating principles, technology and system applications"*, Martin A. Green, Prentice-Hall.
3. *"Handbook of Photovoltaic Science and Engineering"*, Antonio Luque y Steven Hegedus, Wiley.
4. *"Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-18. Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones de instalación"*.
5. *"Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-30. Instalaciones en locales de características especiales"*.
6. *"Photovoltaic Solar Energy Generation"*, A. Goetzberger y V.U. Hoffmann, Springer.
7. *"Renewable Electric Power Systems"*, and Efficient Gilbert M. Masters, Wiley.
8. Mapas, <http://maps.google.es/maps>.
9. Instalaciones de energía solar fotovoltaica, *"Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red"*, IDEA.
10. UNE 157001, *"Criterios generales para la elaboración de proyectos"*, AENOR.
11. *"Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural"*, Pablo Díaz Villar, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
12. Datos de radiación solar, www.agenciaandaluzadelaenergia.es.
13. Tarifas eléctricas Endesa, <http://www.endesaonline.es>.
14. Carrera de vehículos solares, <http://globalgreenchallenge.com.au>.
15. Barcos solares, <http://www.seacleaner.com/>.
16. Noticia barco solar, <http://www.redesignssa.com/>.
17. Tienda de teléfonos solares, <http://www.phonemerchants.com/tavasoemtoen.html>.
18. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.concentrix-solar.de>.
19. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.bp.com/>.
20. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.grupounisolar.com/>.



21. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.avancis.de>.
22. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.firstsolar.com/>.
23. Asociación de la Industria Fotovoltaica, ASIF, <http://www.asif.org>.
24. Fabricante de reguladores, <http://www.stecasolar.com/>.
25. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, Naciones Unidas 1998.
26. Distribuidor de productos de energía solar, www.jhroerden.com.
27. Fabricante de paneles fotovoltaicos, <http://www.recgroup.com>.
28. Agencia estatal de meteorología, <http://www.aemet.es>.
29. Distribuidor energía solar, <http://www.technosun.com>.
30. Distribuidor energía solar, <http://www.cablematsolar.com>.
31. Distribuidor energía solar, <http://www.teknosolar.com>.
32. Distribuidor de material eléctrico, <http://www.voltimum.es>.
33. Distribuidor de material eléctrico, <http://generador-electrico.com>.
34. *"Instrucciones técnicas complementarias FV-01 a FV-11"* Boja nº 98, Sevilla.
35. Fabricante de baterías, <http://www.midacbatteries.com>.
36. Distribuidor de material eléctrico, www.direct-electro.es.
37. Distribuidor de material eléctrico, <http://es.rs-online.com>.
38. Distribuidor de material eléctrico, <http://www.schneiderelectric.es>.
39. *"Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-26. Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones de instalación"*.
40. Base de datos de precios de arquitectura, ingeniería y construcción.
<http://www.construmatica.com>.
41. Fabricante de estructuras para módulos fotovoltaicos, <http://www.schletter.de/es/>.
42. Precio de carburantes, <http://geoportal.mityc.es/hidrocarburos/eess/>.
43. Distribuidor de grupos electrógenos, <http://www.qenergy.es>.



44. Distribuidor de grupos electrógenos, <http://generador-electrico.com>.
45. Software utilizado, *PVSyst v6.1.8*.
46. Universidad de Cádiz, <http://www.uca.es>.
47. Centro de Estudios de la Energía Solar, <http://www.censolar.es>.
48. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).
49. Centro Español de Meteorología, <http://www.cem.es>.
50. Fabricante de inversores, <http://www.ingeteam.com/>.